



TESIS - TE142599

PERANCANGAN RADAR HF BERBASIS FPGA UNTUK PENGAMATAN KARAKTERISTIK IONOSFER

ADI PURWONO
2213204010

DOSEN PEMBIMBING
Ronny Mardiyanto ST., MT., Ph.D
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro M.Eng, Ph.D

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK ELEKTRONIKA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



TESIS - TE142599

**PERANCANGAN RADAR HF BERBASIS FPGA
UNTUK PENGAMATAN KARAKTERISTIK
IONOSFER**

**ADI PURWONO
2213204010**

**DOSEN PEMBIMBING
Ronny Mardiyanto ST., MT., Ph.D
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro M.Eng, Ph.D**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK ELEKTRONIKA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
oleh:

Adi Purwono
NRP. 2213204010

Tanggal Ujian : 31 Mei 2017
Periode Wisuda: September 2017

Disetujui oleh:

1. Ronny Mardiyanto, S.T., M.T., Ph.D (Pembimbing I)
NIP: 19810118 200312 1 003
2. Prof. Ir. Gamantyo H., M.Eng., Ph.D (Pembimbing II)
NIP: 19701111 199303 1 002
3. Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T. (Penguji)
NIP: 19700212 199512 1 001
4. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D (Penguji)
NIP: 19651211 199002 1 002
5. Achmad Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D (Penguji)
NIP: 19710314 199702 1 001
6. Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T. (Penguji)
NIP: 19690426 199403 1 003

Dekan Fakultas Teknologi Elektro



Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.
NIP. 19700212 199512 1 001

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **“PERANCANGAN RADAR HF BERBASIS FPGA UNTUK PENGAMATAN KARAKTERISTIK IONOSFER”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 16 Mei 2017



Adi Purwono)

NRP. 2213204010

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERANCANGAN RADAR HF BERBASIS FPGA UNTUK PENGAMATAN KARAKTERISTIK IONOSFER

Nama mahasiswa : Adi Purwono
NRP : 2213204010
Pembimbing : 1. Ronny Mardiyanto, ST.,MT., Ph.D
2. Prof. Ir. Gamantyo H., M.Eng, Ph.D

ABSTRAK

Radar HF (*High Frequency*) adalah instrumen yang digunakan untuk mengamati dinamika lapisan ionosfer yang memancarkan sinyal secara vertikal untuk mengetahui kualitas sistim komunikasi jarak jauh dengan radio HF. Dengan wilayah Indonesia yang luas diperlukan instrumen Radar HF yang tersebar dari wilayah timur sampai barat Indonesia, namun jumlah Radar HF yang beroperasi sekarang sangat minim sehingga identifikasi kualitas komunikasi radio HF di Indonesia sangat terbatas, agar pengamatan kualitas sistim komunikasi HF dapat dilakukan lebih baik, diperlukan desain Radar HF sebagai prototipe Radar operasional. Perancangan Radar HF untuk prototipe Radar pengamatan karakteristik ionosfer dengan menggunakan metode *bi-phase coded pulse compression* yaitu, *Barker coded-pulse* untuk meningkatkan nilai sensitifitas instrumen, selanjutnya implementasi sistem dengan modul FPGA (*Field Programmable Gate Array*) diterapkan untuk meningkatkan performansi sistem secara keseluruhan. Hasil perancangan digunakan untuk mengamati karakteristik lapisan ionosfer saat sore dan malam hari di lokasi uji kota Sumedang, Jawa Barat. Radar HF hasil perancangan memberikan informasi pembentukan lapisan E ionosfer di ketinggian 101-112 km pada sore hari pada rentang frekuensi yang dipantulkan dari 3 MHz sampai 5 MHz. Pada malam hari Radar dapat mengkonfirmasi lapisan E yang terdeformasi, dan lapisan F yang naik di ketinggian sampai 554 km dengan rentang frekuensi yang dipantulkan dari 6 MHz sampai 10 MHz.

Kata kunci : Radar HF, FPGA, Ionosfer

Halaman ini sengaja dikosongkan

DEVELOPMENT OF FPGA BASED HF RADAR FOR IONOSPHERE CHARACTERISTICS OBSERVATION

By : Adi Purwono
Student Identity Number : 2213204010
Supervisor(s) : 1. Ronny Mardiyanto ST., MT., Ph.D
2. Prof.Ir. Gamantyo H., M.Eng, Ph.D

ABSTRACT

HF (High Frequency) Radar is used for observing ionosphere layer, where it transmits electromagnetic signal vertically in order to obtain information the quality of HF radio communication link. Indonesia's large geographical area needs more HF Radar instruments that spread from east to west of Indonesian archipelago, however the instrumentations installed are far from enough, such that the prediction of the quality of HF communication link can not be well established, then it is a need to design as a prototype of operational HF Radar. In this research, the bi-phase coded pulse compression e.g. Barker coded-pulse implemented on FPGA processor. Furthermore, the Radar design implemented using FPGA is investigated and applied in order to improve the overall performance. The designed Radar is used to measure the ionosphere layer over Sumedang area, West Java during the after noon time and night time. The observation of ionosphere dynamics gave the results that the Radar can detect the presence of E layer over Sumedang at height 101 – 112 km where it reflected the signal from 3 MHz to 5 MHz during after noon time. During night time the designed Radar confirms the deformation of E layer as well as detects the presence of F layer at height 554 km where the F layer reflected the signal from 6 MHz to 10 MHz.

Keywords: *Radar, FPGA, Radio, HF*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, pengerjaan tesis dengan judul “Perancangan Radar HF Berbasis FPGA Untuk Pengamatan Karakteristik Ionosfer” dapat terselesaikan. Penelitian ini dilakukan untuk memperdalam pengetahuan sistem Radar pada frekuensi HF dengan menerapkan modul FPGA untuk meningkatkan performa sistem. Buku tesis ini merupakan karya ilmiah yang disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister pada Program Studi Teknik Elektro, Bidang Keahlian Elektronika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan ini Penulis sampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang memberikan bimbingan, motivasi dan dukungan:

1. Almarhum Ayahanda tercinta, karena masa menemani Ayah berjuang untuk sembuh dan mengantar sampai akhir peristirahatan, adalah momen yang terlalu spesial disaat tesis ini disusun.
2. Ibunda terkasih, yang selalu memberikan semangat dan do’a kepada penulis.
3. Istriku Rina yang tercinta, yang selalu mendampingi penulis disaat-saat yang paling dibutuhkan saat penyusunan tesis ini.
4. Putri-putriku tersayang Haziqa dan Azkadina, yang selalu memberikan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan tesis ini.
5. Ronny Mardiyanto ST., MT., Ph.D sebagai pembimbing 1 dan Dosen Wali, terimakasih atas bimbingan dan motivasi dalam menyelesaikan masa perkuliahan dan tesis ini.
6. Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D. sebagai pembimbing 2, terimakasih atas support, bimbingan dan motivasi dalam menyelesaikan tesis ini.
7. Bapak dan ibu dosen S2, terimakasih atas bimbingan dan ilmu pengetahuan yang diberikan selama perkuliahan.
8. Rekan-rekan Tim HF dan Rekan-rekan laboratorium Antena dan Propagasi B306, dan rekan kelas Eletronika S2 angkatan 2013, terimakasih atas diskusi dan kerjasama dalam penelitian ini.

9. Kepala Stasiun Pengamatan Sains Dirgantara dan Atmosfer LAPAN, Pak Aries di Tanjungsari, Sumedang yang telah mengizinkan untuk meminjam instrumentasi saat uji alat, dan memohon maaf apabila telah merusak salah satu alat saat pengujian.
10. Rekan Kerja LAPAN di Tanjungsari, Sumedang dalam menemani penulis melakukan serangkaian uji alat.

Dalam penulisan tesis ini penulis menyadari bahwa masih jauh dari sempurna, demi perbaikan dari tesis ini, maka saran dan kritik penulis harapkan. Harapan dari penulis bahwa buku tesis ini dapat memberikan informasi dan manfaat yang seluas-luasnya.

Surabaya, 16 Mei 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Kontribusi	5
1.6 Metodologi Penelitian	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 Radar HF dan Penelitian Ionosfer	7
2.1 Karakterisasi Lapisan Ionosfer	10
2.2 Sistem dan Kapabilitas Deteksi Radar HF	13
2.1.1 Metode Transmisi Sinyal Terkodekan Fasa	16
2.1.2 Receiver Super Heterodyne	21
2.1.3 Hilbert Transformation	23
2.3 Modul FPGA	24
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Disain Sistem Radar	29
3.2 Karakteristik Ionosfer Pada Daerah Ekuator	30
3.2.1 Menentukan Link budget	31
3.3 Perancangan Sinyal Pulsa Transmisi	32
3.4 Perancangan Penerima <i>Super Heterodyne</i>	33
3.5 Desain Kontrol Untuk Osilator dan Pewaktuan Radar	35
3.6 Desain Sistem FPGA	36

3.6.1	BandPass dan Hilbert Transformer.....	38
3.6.2	FFT dan Scaler	41
3.6.3	Desain Korelator.....	42
3.6.4	Alur Program FPGA.....	44
3.7	Sistem Antena, Penguat Sinyal serta Komponen Pendukung Radar HF	45
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		49
4.1	Pengujian Hasil Perancangan	49
4.1.1	Uji Sinyal Pancar	49
4.1.2	Uji ADC Pada FPGA.....	51
4.1.3	Uji Bandpass Filter dan Hilbert Transform	52
4.1.4	Uji Korelator Sinyal	54
4.1.5	Uji Penerima Heterodyne 3 Tingkat.....	55
4.1.6	Simulasi Kinerja Antena Radar	57
4.2	Pengujian Radar dan Validasi Data.....	60
4.2.1	Fasilitas Pengujian Radar	60
4.2.2	Percobaan Pancar.....	61
4.2.3	Percobaan Pancar Pukul 17.00 WIB.....	64
4.2.4	Percobaan Pancar Pukul 19.00 – 20.00 WIB.....	67
4.3	Karakteristik Ionosfer Sumedang Jawa Barat	70
4.4	Sintesis Penelitian.....	71
BAB 5 PENUTUP		75
5.1	Kesimpulan.....	75
5.2	Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA.....		77
LAMPIRAN		81
FPGA Blok Desain		81
Modul Pyboard		82
Modul FPGA BASYS-3		83
Display Osiloskop.....		84
Modul AD9850		86
DAFTAR INDEX.....		87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Jaringan Pengamatan Ionosfer Indonesia (Buldan, 2005).....	3
Gambar 2.1 Ionosonda IPS71 Buatan Australia	8
Gambar 2.2 Ionosonda CADI Buatan Canada	9
Gambar 2.3 Ionogram Lapisan E dan F (Varuliantor, 2009)	10
Gambar 2.4 Metode Radar Untuk Deteksi Lapisan Ionosfer (Varuliantor, 2009) ..	11
Gambar 2.5 Metode Perhitungan Frekuensi Dipantulkan (Varuliantor, 2009).....	13
Gambar 2.6 Konstruksi Antena Radar HF	14
Gambar 2.7 Sinyal Terkode Fase	17
Gambar 2.8 Blok Diagram Sistem dengan Korelator	18
Gambar 2.9 Fungsi Autokorelasi Kode Barker 7 Bit (Mahafza, 2000)	20
Gambar 2.10 Rangkaian Dasar Penerima <i>Super Heterodyne</i>	21
Gambar 2.11 <i>Frequency Image</i> Pada Pencampuran	22
Gambar 2.12 Rangkaian <i>Super Heterodyne</i> 2 Tingkat	22
Gambar 2.13 Skema <i>Hilbert Transform</i>	23
Gambar 2.14 Skema Pemrograman FPGA (<i>Xilinx Application Note</i> , 2015).....	24
Gambar 2.15 Implementasi Sirkuit Digital Pada FPGA (Wilson, 2007).....	25
Gambar 3.1 Ilustrasi Radar HF dengan Target Lapisan Ionosfer	27
Gambar 3.2 Tahapan Proses Penelitian.....	28
Gambar 3.3 Diagram Blok Desain Radar	29
Gambar 3.4 Struktur Lapisan Ionosfer Daerah Lintang Rendah (McNamara, 1990)	30
Gambar 3.5 <i>Heterodyne Receiver</i>	33
Gambar 3.6 Skematik Penerima <i>Heterodyne</i> Tiga Tingkat	34
Gambar 3.7 Sistem Kontrol Radar HF	35
Gambar 3.8 Diagram Pewaktuan Kontrol Radar	36
Gambar 3.9 Proses Di Dalam FPGA.....	36
Gambar 3.10 Diagram Alur Pada Kontroler	37
Gambar 3.11 <i>Matlab-Xilinx System Generator</i> untuk Desain Filter.....	38
Gambar 3.12 Respon Impulse Filter FIR Bandpass 170 kHz – 230 kHz	39
Gambar 3.13 Implementasi FIR Bandpass Pada FPGA.....	39
Gambar 3.14 Respon Frekuensi Pada FIR Hilbert Transform	40
Gambar 3.15 Respons Impulse FIR Hilbert Transform	40
Gambar 3.16 Konfigurasi Hilbert Transform (<i>Xilinx Application Notes</i> , 2014)...	40
Gambar 3.17 Implementasi Hilbert Transform Pada FPGA	41
Gambar 3.18 Implementasi FFT Scaler	42
Gambar 3.19 Overflow pada proses IFFT.....	42
Gambar 3.20 Diagram Blok Desain Korelator.....	42
Gambar 3.21 Implementasi Korelator Pada FPGA.....	43
Gambar 3.22 Hasil Perancangan Radar Berbasis FPGA	43
Gambar 3.23 Diagram Alur FPGA	44
Gambar 3.24 Radar Berbasis FPGA Operasional	46

Gambar 3.25 Rangkaian Penerima Heterodyne 3 Tingkat	46
Gambar 3.26 Antena Pemancar Delta	46
Gambar 3.27 Antena Penerima Dipole.....	47
Gambar 3.28 Modul Pre-Amplifier	47
Gambar 3.29 Modul Power Amplifier.....	47
Gambar 4.1 Struktur ILA Pada FPGA	49
Gambar 4.2 Lebar Sub-Pulsa Transmit	50
Gambar 4.3 Lebar Pulsa Transmit.....	50
Gambar 4.4 Repetisi Pulsa Pancar.....	50
Gambar 4.5 Skema Uji ADC FPGA dengan Input <i>Function Generator</i>	51
Gambar 4.6 Keluaran ILA dari ADC FPGA	51
Gambar 4.7 Skema Uji ADC FPGA dengan Input Osilator 4 (Transmitter)	52
Gambar 4.8 Keluaran ILA dari ADC dengan Input Osilator 4	52
Gambar 4.9 Skema Uji Filter dan Hilbert Transform.....	52
Gambar 4.10 Keluaran ILA Untuk Modul Bandpass dan Hilbert Transform.....	53
Gambar 4.11 Skema Pengujian <i>Complex Multiplier</i> dan Korelator	53
Gambar 4.12 Output hasil <i>Complex Multiplier</i>	54
Gambar 4.13 Output hasil Korelator	54
Gambar 4.14 Skema Uji Penerima <i>Heterodyne</i> Dengan Function Generator.....	55
Gambar 4.15 Hasil Uji Penerima <i>Heterodyne</i> Dengan Function Generator	56
Gambar 4.16 Skema Uji Penerima <i>Heterodyne</i> Dengan Sistem FPGA	56
Gambar 4.17 Komponen sinyal Pada Penerima <i>Heterodyne</i>	56
Gambar 4.18 Hasil Uji <i>Receiver Heterodyne</i> Dilihat Pada Output Magnitude.....	57
Gambar 4.19 Hasil Uji <i>Receiver</i> Dengan Skema Gambar 4.17 di Osiloskop	57
Gambar 4.20 Konfigurasi Antena Delta Pada Pemancar	58
Gambar 4.21 Pola radiasi <i>far-field</i> antenna frekuensi 7 MHz.....	58
Gambar 4.22 Kontur Medan Elektromagnetik <i>near-field</i> frekuensi 7 MHz	59
Gambar 4.23 Plot Gain Antena untuk frekuensi 4, 6 dan 7 MHz	59
Gambar 4.24 Plot Gain Antena untuk frekuensi 9, 11 dan 12 MHz	59
Gambar 4.25 Sinyal Diterima Pada Frekuensi 5 Mhz Pukul 14.00 WIB.....	61
Gambar 4.26 Sinyal Pantulan Diterima Pada Frekuensi 5 MHz Pukul 15.10 WIB	62
Gambar 4.27 Pantulan Sinyal Diterima Pada Frekuensi 10 MHz Pukul 14.20 WIB	62
Gambar 4.28 Data Uji Penerima	62
Gambar 4.29 Ionogram Sumedang, Mei 2015 Pukul 15.00 dan 16.00	63
Gambar 4.30 Ionogram Sumedang Juli 2015 Pukul 15.00 dan 17.00	63
Gambar 4.31 Ionogram Sumedang Lapisan E Juli 2015 Pukul 18.00 dan 19.00..	64
Gambar 4.32 Ionogram Pontianak 18 Mei 2017 Pukul 10 UT/17 WIB.....	65
Gambar 4.33 Hasil Pancar 3, 3,5 dan 4 Mhz 18 Mei Pukul 17.00	66
Gambar 4.34 Hasil Pancar 4,5, 5 dan 5,5 MHz 18 Mei Pukul 17.00	66
Gambar 4.35 Kualitas <i>Link</i> HF Bandung-Watukosek 18 Mei 2017	67
Gambar 4.36 Data Plot Intensitas Pantulan	67

Gambar 4.37 Sinyal Pantulan Pada Frekuensi Pancar 12 Mhz 18 Mei Pukul 19.00	68
Gambar 4.38 Sinyal Pantulan Pada Frekuensi Pancar 10 Mhz 18 Mei Pukul 19.00	68
Gambar 4.39 Sinyal Pantulan Pada Frekuensi Pancar 8 Mhz 18 Mei Pukul 19.00	68
Gambar 4.40 Sinyal Pantulan Pada Frekuensi Pancar 7 Mhz 18 Mei Pukul 19.00	68
Gambar 4.41 Ionogram Pontianak 18 Mei 2017 pukul 19.00WIB	69
Gambar 4.42 Sinyal Pantulan Pada Frekuensi Pancar 6 Mhz 18 Mei Pukul 19.00	70
Gambar 4.43 Profil Lapisan E Ionosfer Sumedang Pada Pukul 17.00 WIB.....	70
Gambar 4.44 Profil Ionosfer Sumedang Pukul 19.00 – 20.00 WIB	71
Gambar 4.45 Rancangan Saat Bekerja (kiri), dan Keluran Impuls (Kanan).....	72
Gambar 4.46 Pemancar Saat Bekerja Mengeluarkan Daya Maksimal	73

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Parameter Atenuasi (McNamara dan Davies, 1990).....	16
Tabel 3.1 Parameter Link Budget.	31
Tabel 3.2 Parameter Pulsa Transmit	32

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Radar HF (*Radio Detecting and Ranging - High Frequency*) atau Ionosonde beroperasi pada rentang frekuensi 3 Mhz - 30 Mhz adalah perangkat instrumentasi yang digunakan untuk mengamati dinamika lapisan ionosfer yang ketinggiannya bervariasi antara 200 km sampai 1000 km dimana kondisi lapisan tersebut (variasi ketebalan dan ketinggian) menentukan kualitas sistim radio komunikasi dan navigasi.

Dengan wilayah Indonesia yang luas, diperlukan instrumentasi Radar HF yang tersebar dari ujung timur sampai barat Indonesia dan juga mencakupi bagian utara dan selatan Indonesia sehingga pengamatan dinamika lapisan ionosfer untuk mengetahui kualitas sistim radio dan navigasi di wilayah Indonesia dapat dilakukan dengan maksimal. Indonesia dengan geografis yang membentang dari enam derajat lintang utara sampai sebelas lintang selatan dan 95 derajat sampai 141 derajat bujur timur, maka diperlukan minimal 12 instrumen Radar HF dengan radius 600 kilometer pengamatan (Jiyo, 2009). Operasional Radar HF di Indonesia dilakukan oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN). Saat ini baru lima instrumen yang terpasang di Indonesia dimana dua diantaranya sudah tidak lagi mendapatkan dukungan suku cadang dari pabrikan jika terjadi kerusakan.

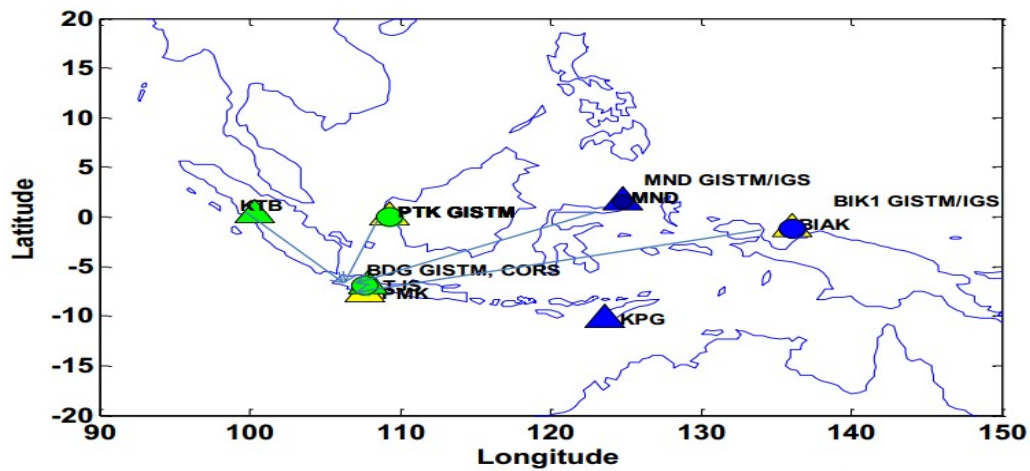
Instrumen terdiri dari modul pemancar (transmitter) beserta antena, modul penerima (receiver) beserta antena, dan modul pemroses sinyal. Dinamika lapisan dapat diamati dengan memancarkan sinyal secara vertikal ke atas dengan frekuensi pancar dari 3 Mhz sampai 30 Mhz dan kemudian modul receiver menangkap sinyal yang dipantulkan oleh lapisan ionosfer. Kerapatan tiap lapisan ionosfer akan menghasilkan efek pantulan yang berbeda untuk setiap frekuensi yang dipancarkan. Sinyal pantul yang ditangkap tersebut dihitung perambatan dan kuat sinyalnya dan kemudian menghasilkan profil lapisan ionosfer (kerapatan dan ketinggian) sesuai dengan karakteristik perambatan sinyal dan kuat sinyal.

Semakin kuat sinyal pantul yang dideteksi pada frekuensi pancar tertentu maka semakin besar densitas total partikel elektron (*Total Electron Content / TEC*) pada lapisan ionosfer tersebut.

Lapisan Ionosfer di atas permukaan bumi tidak hanya berfungsi untuk melindungi Bumi beserta isinya dari radiasi sinar Matahari. Namun dalam teknologi sekarang, kondisi lapisan ionosfer berperan penting dalam kelancaran sistem komunikasi dan navigasi (Warrington dkk., 2009). Kondisi lapisan ionosfer selalu berubah dari waktu ke waktu dimana tingkat kerapatan dan profil ketinggian dari lapisan ionosfer sangat dinamis, dipengaruhi oleh radiasi sinar matahari dan dapat pula karena aktifitas terjadinya petir. Lapisan ionosfer terganggu biasanya disebabkan oleh aktifitas matahari berupa *Solar Flare* dan *Coronal Mass Ejection* (CME). Akibat gangguan ini, kerapatan elektron lapisan bawah ionosfer akan bertambah dan akibatnya penyerapan gelombang radio pada ionosfer akan tinggi. Efek dari fenomena ini adalah terjadinya *black-out* atau *short-wave black-out* dimana pada saat itu komunikasi HF dan transmisi sinyal satelit akan terserap dan terjadi kegagalan komunikasi radio selama rentang waktu 10 - 60 menit, seperti yang dilaporkan oleh Buldan tahun 2002 saat terjadi badai CME yang besar pada 14 Juli 2000.

Gangguan lapisan ionosfer dapat bersifat lokal yang biasanya terjadi akibat peristiwa petir atau akibat dari efek ketidaksetimbangan densitas lapisan ionosfer yang memunculkan *plasma bubble*. Gangguan ini akan menimbulkan efek sintilasi dimana gangguan mengakibatkan amplitudo, fasa, dan atau polarisasi sinyal radio berubah dengan cepat dan acak. Efek sintilasi berakibat terjadinya *fading* pada komunikasi radio dan gangguan sinyal GPS (*lost GPS-lock signal*), seperti dilaporkan oleh McClure dkk. tahun 2012.

Jiyo pada tahun 2009 menguji prediksi frekuensi HF, ASAPS (*Advanced Stand-Alone Prediction System*). Parameter input ASAPS berasal dari pengamatan radar HF di Indonesia untuk diujikan pada komunikasi radio di lingkungan Kohanudnas. Dari pengujian disimpulkan bahwa prediksi ASAPS terlalu rendah bila dibandingkan dengan hasil pengamatan dengan radar HF, Jiyo berpendapat bahwa hal tersebut akibat dari sedikitnya data radar HF pada lintang rendah yang digunakan dalam prediksi.



Gambar 1.1 Jaringan Pengamatan Ionosfer Indonesia (Buldan, 2005)

Dari uraian tersebut pengamatan dinamika kondisi lapisan ionosfer secara berkala menjadi sangat penting untuk dilakukan terutama di wilayah timur pulau Jawa. Karena kondisi lapisan ionosfer bersifat spesifik terhadap lokasi, sehingga untuk pengamatan karakteristik dan penentuan referensi frekuensi komunikasi diperlukan instrumen yang dapat mengamati dinamika ionosfer secara berkala. Maka perlu dirancang instrumen Radar HF untuk kemandirian agar tidak tergantung terhadap pabrikan.

Dalam kebutuhan desain tingkat sensitifitas adalah hal pokok yang harus dipertimbangkan. Pada sistim radar, terdapat 3 hal pokok yang menjadi parameter umum tingkat sensitifitas, yaitu (Skolnik, 1980, McNamara dan Davies, 1990):

1. Pfa : probabilitas false-alarm
2. PD : probabilitas deteksi
3. S/N : Rasio Signal to Noise

Dengan implementasi sistem dengan modul FPGA (*Field Programmable Gate Array*) konfigurasi sistem radar dapat dilakukan secara fleksibel dan dapat secara leluasa diprogram ulang sesuai dengan desain perangkat keras yang direncanakan pada FPGA (Hwang dkk., 2011). Untuk itu, dalam penelitian ini konfigurasi sistem dengan FPGA dan metode pemancaran akan diimplementasi dan diuji performansinya. Metode sinyal pemancar bi-phase coded pulse

compression yaitu, Barker coded-pulse akan digunakan. Selanjutnya Brimeyer dkk., 2007 melaporkan bahwa dengan menggunakan FPGA untuk pemroses sinyal pada radar X-Band dapat meningkatkan sensitifitas sistem sekitar delapan persen. Peningkatan ini tercapai dengan mensubstitusi perangkat keras modulator pemancar dengan implementasi modul, dan implementasi pemroses sinyal secara digital yang terintegrasi dalam satu sistem FPGA. Pada Brimeyer dkk, 2007 penggunaan modul analog untuk deteksi sinyal yang diterima digeser ke dalam ranah digital, sehingga rugi-rugi yang timbul akibat pemakaian komponen analog seperti efek suhu yang mempengaruhi kinerja komponen yang mengakibatkan pergeseran fasa, atau efek redaman yang mengakibatkan conversion loss pada deteksi sinyal di penerima dapat diminimalisir.

Uraian-uraian tersebut melatarbelakangi proposal perancangan sistem radar HF berbasis FPGA ini, dan diharapkan sistem akan memberikan informasi karakteristik lapisan ionosfer.

1.2 Rumusan Masalah

Dari pemaparan yang telah dijelaskan di atas, maka pada penelitian ini mengangkat beberapa masalah yang akan diselesaikan, yaitu :

1. Perancangan dan implementasi sub sistem – sub sistem pada radar ke dalam satu modul FPGA untuk menekan rugi-rugi komponen jika menggunakan komponen analog sehingga dapat meningkatkan sensitifitas sistem.
2. Sebaik apa peningkatan performansi metode sinyal pemancar *bi-phase coded pulse compression* yaitu, *Barker coded-pulse*.
3. Seberapa jauh tingkat keakuratan instrumen yang dirancang dalam menghasilkan profil ketinggian ionosfer jika dibandingkan dengan instrumen lain yang telah terkalibrasi.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah dapat diketahuinya karakteristik lapisan ionosfer. Secara terperinci tujuan penelitian dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Didapatkan rancangan prototipe dan implementasi sistem radar HF menggunakan FPGA sehingga dapat menghasilkan data ketinggian ionosfer.
2. Tersedianya data ketinggian lapisan ionosfer sebagai referensi frekuensi optimum yang divalidasi dengan instrumen lain seperti ALE (*Automatic Link Establishment*) yang berguna untuk komunikasi radio HF secara umum.

1.4 Batasan Masalah

Batasan pada tesis Perancangan Radar HF berbasis FPGA ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana memperoleh informasi profil ionogram dengan memanfaatkan FPGA sebagai modul pengolah data sinyal digital.
2. Pengujian prototipe menggunakan Transmitter dan Receiver pada stasiun Pengamatan Dirgantara dan Atmosfer LAPAN Tanjungsari, Sumedang.

1.5 Kontribusi

Hasil dari studi ini akan menghasilkan sebuah instrumen radar HF yang dapat digunakan untuk melakukan pengamatan ketinggian lapisan ionosfer dan menghasilkan data informasi referensi frekuensi yang dapat digunakan untuk komunikasi radio HF.

1.6 Metodologi Penelitian

Desain prototipe Radar HF dilakukan dengan langkah-langkah :

1. Perhitungan link-budget yang dibutuhkan suatu sinyal dapat dideteksi kembali pada sisi penerima.
2. Setelah minimum daya sinyal diketahui sebagai referensi uji alat pada laboratorium dengan alat ukur Osiloskop. Kemudian perancangan sistem dengan mengacu bagaimana daya sinyal dapat dideteksi dan dipisahkan dengan sumber derau nya.
3. Pemilihan teknik penerima(receiver), filter dan teknik pemrosesan data agar dapat menaikkan rasio sinyal terhadap derau.
4. Integrasi dan testing dalam laboratorium.

5. Uji alat dengan Pemancar dan Penerima di Stasiun Pengamatan Dirgantara dan Atmosfer LAPAN Tanjungsari.
6. Analisis Data.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Radar HF dan Penelitian Ionosfer

Radar (*Radio Detecting and Ranging*) merupakan instrumen yang pada awalnya diciptakan dalam perang sejak Perang Dunia I untuk mendeteksi datangnya pesawat dan kapal musuh. Saat ini kegunaan instrumen Radar berkembang untuk tujuan damai, dari penelitian atmosfer untuk deteksi intensitas hujan, arah angin dan badai, sampai penelitian ionosfer untuk deteksi gangguan komunikasi dan posisi pada GPS (*Global Positioning System*).

Hasil observasi dan penelitian didapatkan bahwa lapisan Ionosfer di daerah ekuatorial yang memantulkan gelombang radio pada frekuensi 3 MHz sampai 30 MHz mempunyai ketinggian berfluktuasi antara 200 Km sampai 700 Km (Lapisan E dan F Ionosfer) dengan statistik menunjukkan bahwa 60 persen kemunculan lapisan pemantul berada di rentang ketinggian 200 Km sampai 300 Km dengan variabilitas yang tinggi saat siang hari (Chatterjee, 2013). Karakteristik lapisan Ionosfer ini juga didukung dengan analisis model MSILRI yaitu pemodelan fisis lapisan Ionosfer diatas Indonesia (Buldan, 2010). Perangkat komunikasi radio amatir dalam rentang frekuensi ini pada umumnya berdaya berkisar 25-30Watt (mayoritas pengguna di tingkat Siaga, sesuai dengan persyaratan teknis perangkat amatir radio Kementrian Kominfo) sehingga dengan asumsi rentang ketinggian lapisan pemantul berada 200-300 Km maka gelombang radio komunikasi hasil pantulan masih diterima dengan jelas bila komunikasi dipilih pada frekuensi kerja sesuai dengan indeks lapisan yang terbentuk saat itu.

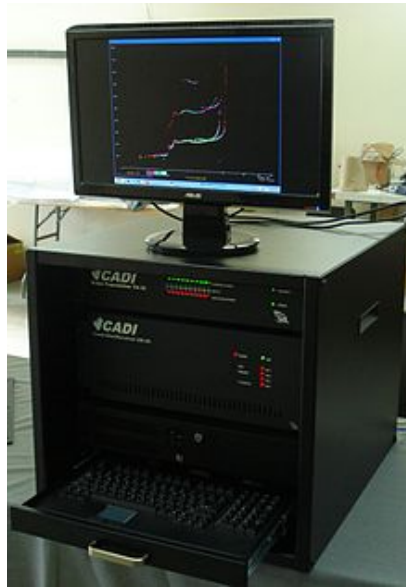
Pada Zucheretti dkk. radar HF didesain untuk menggunakan daya maksimum pemancar sebesar 250 Watt dengan daya rata-rata yang pancarkan sebesar 5 sampai 10 Watt untuk mendeteksi lapisan Ionosfer di ketinggian antara 90 sampai 750 km dengan resolusi ketinggian 5 km. Dalam desainnya, untuk memperoleh ketinggian dan resolusi tersebut maka digunakan metode kompresi sinyal untuk meningkatkan rasio antara sinyal dan derau yang ditimbulkan akibat



Gambar 2.1 Ionosonda IPS71 Buatan Australia

daya pancar yang kecil. Sinyal yang dipancarkan akan dikorelasikan dengan sinyal dari sisi penerima, sehingga diklaim proses korelasi ini akan memberikan kenaikan rasio sinyal dan derau maksimum 25 dB dengan 13-bit kode Barker. Namun desain ini mempunyai konfigurasi pembangkitan pulsa yang tidak efisien, sehingga panjang kode sebanyak 13-bit ini mengakibatkan resolusi ketinggian maksimum yang dapat dicapai hanya sebesar 5 km. Dibandingkan pada sistem CADI (*Canadian Advanced Digital Ionosonde*) yang dapat mencapai resolusi 3 km dengan menggunakan kontroler *Direct Digital Synthesis* untuk pembangkitan pulsa radar (MacDougall, 1998)

MacDougall dkk. mendesain ionosonda digital CADI (*Canadian Advanced Digital Ionosonde*) dengan daya pancar maksimum sebesar 600 Watt dengan keluaran daya rata-rata sebesar 10 – 25 Watt yang mampu mendeteksi lapisan Ionosfer sampai dengan 1050 Km dengan resolusi sebesar 3 Km. Resolusi ini didapatkan dari desain DDS (*Direct Digital Synthesis*) sebagai pengontrol pembangkitan sinyal pulsa Radar. Modul DDS digunakan sebagai pembangkit frekuensi pancar sekaligus sebagai kontrol sinyal pulsa maka pengaturan lebar pulsa radar dapat diatur sampai dengan 25 mikro detik sehingga bila digunakan 13-Bit kode Barker nilai maksimum resolusi ketinggian yang didapat bisa mencapai 1,8 Km. Gambar 2.2 adalah contoh sistem ionosonda CADI.



Gambar 2.2 Ionosonda CADI Buatan Canada

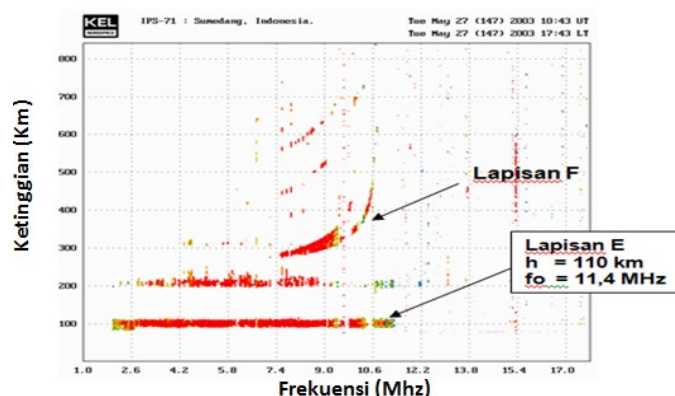
Disain radar HF dengan sistem *bi-statik* (Nozaki dkk, 2003) yaitu antara pemancar dan penerima dipisahkan tidak berada dalam satu lokasi dan dengan modulasi sinusoidal kontinu, FMCW (*Frequency Modulated Continuous Wave*). Menggunakan *matching filter* dalam sistem penerima dengan teknik modulasi menggunakan kode biner *m-sequence*. Dengan sistim tersebut hasil yang diperoleh bahwa sensitifitas deteksi sinyal pantul pada sistem penerima cukup tinggi sehingga daya keluaran yang dibutuhkan untuk sistim pemancar dapat ditekan hingga pada level daya 50 Watt, dibandingkan dengan radar HF yang didesain oleh Zucherretti dkk. dimana dibutuhkan daya puncak sebesar 250 Watt.

Kothekar dkk. mendesain rantai pemancar untuk radar HF menggunakan DDS yang dikontrol pewartuannya oleh sebuah mikrokontroler. DDS AD9854 dapat menghasilkan kode Komplementer Bi-phase untuk panjang kode 16-bit. DDS AD 9854 adalah solusi yang cukup ekonomis untuk digunakan sebagai modul pembangkit sinyal pemancar radar meskipun dalam prakteknya penggunaan AD9854 ini diperlukan *Low Pass Filter* agar menjamin frekuensi harmonik sinyal sinusoidal yang dihasilkan dapat diredam sempurna. Studi lebih lanjut akan dilakukan untuk divais ini untuk diterapkan dalam desain radar karena selain pertimbangan ekonomis juga secara teknis dapat memenuhi kebutuhan perancangan.

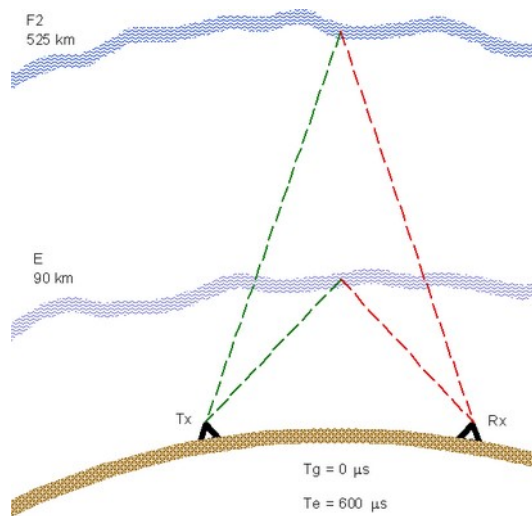
2.1 Karakterisasi Lapisan Ionosfer

Pada komunikasi rentang frekuensi tinggi (*High Frequency*/HF) 3-30 Mhz, yang biasa digunakan oleh komunitas radio amatir dan TNI/POLRI, frekuensi kerja yang optimum yang disarankan untuk digunakan umumnya mengacu pada besarnya besar frekuensi yang dipantulkan oleh lapisan ionosfer, khususnya lapisan F di ketinggian 150-600 km. Lapisan ini secara kontinyu terbentuk sepanjang hari dengan puncak ketebalan lapisan terjadi pada siang hari akibat efek ionisasi radiasi sinar matahari (McNamara, 1991). Saat tertentu efek ionisasi radiasi sinar matahari yang intens terbentuk juga lapisan E yang juga dapat berfungsi sebagai media pemantul gelombang radio. Ketinggian lapisan ini berada dibawah ketinggian lapisan F, yakni pada ketinggian antara 80-150 km dari permukaan bumi. Keuntungan yang diperoleh dari kemunculan lapisan E adalah kerapatan elektron yang cukup tinggi dan perubahan ketinggian yang lebih stabil. Hal ini berdampak pada keberhasilan komunikasi radio yang berada pada rentang frekuensi yang lebih tinggi dan memiliki tingkat kualitas komunikasi lebih baik bila dibandingkan dengan pemantulan oleh lapisan F (Varuliantor, 2009).

Lapisan E ini juga bisa menimbulkan kerugian dimana saat efek ionisasi pada lapisan tidak terbentuk sempurna sehingga tidak sepenuhnya memantulkan gelombang frekuensi tetapi justru menyerap gelombang sehingga kualitas komunikasi akan menurun signifikan



Gambar 2.3 Ionogram Lapisan E dan F (Varuliantor, 2009)



Gambar 2.4 Metode Radar Untuk Deteksi Lapisan Ionosfer (Varuliantor, 2009)

Gambar Ionogram dihasilkan dengan mengacu pada sistem kerja radar dimana obyek yang memantulkan sinyal radar (lapisan ionosfer) dideteksi lokasi dan ketinggiannya dengan menghitung waktu tempuh sinyal radar (*transmitted* dan *reflected*).

Lintasan gelombang radio dipengaruhi oleh muatan elektron bebas yang terdapat pada media lintasan. Lintasan ini dibentuk oleh nilai indeks refraksi dimana nilai tersebut dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi elektron dan besarnya medan magnet dalam media lintasan serta frekuensi dan polarisasi gelombang yang dipancarkan. Sehingga terdapat properti penting dalam propagasi gelombang dalam lapisan Ionosfer :

1. Indek Refraksi proporsional dengan konsentrasi elektron dalam lapisan
2. Nilai Indek Refraksi berkebalikan dengan nilai gelombang frekuensi yang dipancarkan
3. Ada dua kemungkinan lintasan radiasi gelombang radio tergantung dari polaritas gelombang pancar sebagai konsekuensi adanya medan magnet yang menyebabkan Ionosfer bersifat '*birefringent*'. Selanjutnya lintasan tersebut disebut komponen *ordinary* dan *extra ordinary*.

Nilai frekuensi dimana gelombang radio mulai merambat menembus lapisan ionisasi disebut frekuensi kritis pada lapisan tersebut, dimana frekuensi kritis (f_o) merupakan fungsi dari densitas elektron. Komponen Ordinari direpresentasikan dalam Persamaan 2.1, dan komponen Extra-ordinari dalam Persamaan 2.2.

$$f_o = 8.98 \times \sqrt{Ne} \quad (2.1)$$

$$f_o = 8.98 \times \sqrt{Ne} + \frac{0.5 \times B \times e}{m} \quad (2.2)$$

dimana:

f_o : Frekuensi kritis (Hz)

Ne : Konsentrasi Elektron (m^3)

B : Kuat Medan Magnet

e : Muatan Elektron

m : Massa Elektron

Penentuan nilai frekuensi yang dipantulkan oleh lapisan ionosfer untuk komunikasi radio antara lokasi A (Tx) dan lokasi B (Rx) dapat diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan metoda bahwa faktor penentu nilai frekuensi yang dipantulkan oleh lapisan ionosfer dirumuskan dalam Persamaan 2.3 McNamara (1991).

$$f = f_o \frac{\sqrt{\frac{1}{4}d'^2 + h'^2}}{h'} \quad (2.3)$$

dimana:

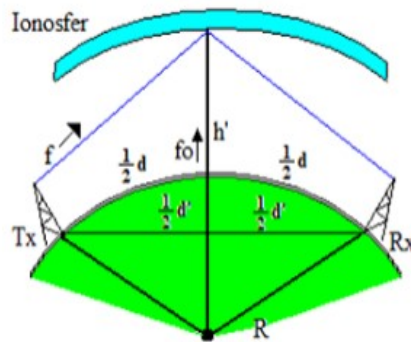
d' : Jarak horisontal antara dua lokasi komunikasi Tx dan Rx

h' : Ketinggian lapisan ionosfer

f_o : Frekuensi kritis

f : Frekuensi / channel komunikasi

Frekuensi yang berada di atas nilai frekuensi kritis akan menembus lapisan ionisasi tanpa dipantulkan, kecepatan grup (*group velocity*) akan diperlambat



Gambar 2.5 Metode Perhitungan Frekuensi Dipantulkan (Varuliantor, 2009)

akibat ionisasi sehingga akan menambah '*time of flight*' gelombang. Jika gelombang dalam perambatannya bertemu dengan lapisan ionisasi lain, dimana yang lebih tinggi dari frekuensi gelombang, maka gelombang tersebut akan dipantulkan dan sinyal pantulan lebih jauh akan diperlambat akibat menembus lapisan pertama tadi.

2.2 Sistem dan Kapabilitas Deteksi Radar HF

Sistem radar HF untuk deteksi lapisan ionosfer bekerja berdasarkan prinsip kerja '*pulsed radar*' dimana gelombang pancar yang dikirim ke target/objek radar berupa pulsa dimana waktu tunda sinyal pantul (*echo*) dan jarak target dapat dihitung dengan Persamaan 2.4.

$$h_v = \frac{c \cdot \Delta t}{2} \quad (2.4)$$

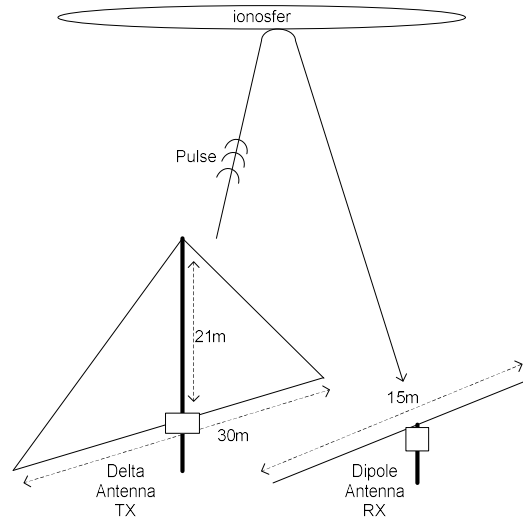
dimana :

h_v : Jarak atau Ketinggian (m)

c : Kecepatan perambatan Gelombang

Δt : Delay

Dari Persamaan 2.4 dapat diturunkan untuk menentukan parameter-parameter lain yang penting dalam disain radar. Seperti resolusi dan jarak maksimum serta jarak minimum. Resolusi adalah jarak minimum antara 2 objek yang radar dapat



Gambar 2.6 Konstruksi Antena Radar HF

dideteksi. Nilai h_v menjadi nilai resolusi jika variabel Δt merupakan δt (delta t) yaitu nilai minimum interval waktu antara dua *echo*. Interval waktu ini adalah durasi pulsa pancar yang dapat dihasilkan oleh sistem radar, semakin pendek pulsa maka akan dihasilkan resolusi yang kecil. Namun dengan semakin pendeknya pulsa maka daya puncak (*peak power*) yang dibutuhkan semakin besar. Dan apabila diinginkan jarak terjauh yang dapat dideteksi oleh radar (*maximum distance*) maka konsekuensinya dibutuhkan energi (*peak power* dikalikan waktu) yang besar dan nilai PRF (*Pulse Repetition Frequency*) yang kecil. Nilai PRF ini berhubungan erat dengan kinerja sistem radar dalam mendeteksi objek (*radar detection capability*). Dengan mensubstitusi $1/\Delta t$ dengan nilai PRF maka didapatkan h_{max} . Sehingga dalam desain radar ini, akan dikaji lebih dalam sejauh mana daya radar (*peak power*) sebesar 200 Watt dan nilai PRF dapat diimplementasi untuk menghasilkan resolusi yang kecil (kurang dari 5 km) dan jarak yang maksimum (1000 km).

Untuk memformulasikan kinerja radar dalam deteksi objek (*detection capability*) maka sistem radar dirumuskan dengan Persamaan 2.5.

$$P_r = \frac{P_t \cdot G_t}{L_a} \cdot \frac{G_r \cdot \lambda^2}{4\pi} \quad (2.5)$$

dimana :

P_r : Power Diterima

P_t : Power Dipancarkan

G_t dan G_r : Gain Antena Pemancar dan Gain Antena Penerima

L_a : Rugi-Rugi

λ : Panjang Gelombang

Dari Persamaan (2.5) terdapat parameter radar yang dapat dihitung dan dipertimbangkan dalam desain yaitu Gain Antena Pemancar dan Penerima, namun pada penelitian ini desain antena dan formulasi '*radiation pattern*' antena tidak akan dibahas secara detail untuk membatasi lingkup penelitian yang akan dilaksanakan. Kemudian dari Persamaan 2.5 dapat diturunkan untuk mendapatkan total atenuasi dari sinyal pancar radar dimana dirumuskan pada Persamaan 2.6.

$$P_{t(dBm)} - P_{r(dBm)} = L_{g(dBm)} + L_{a(dB)} + L_{s(dB)} - G_{t(dB)} - G_{r(dB)} \quad (2.6)$$

dimana :

L_g : Rugi-rugi geometri (*free space path loss*)

L_a : Rugi Absorpsi

L_s : Rugi System

G_t, G_r : Gain Antena Penerima dan Pemancar

dan lebih lanjut rugi-rugi geometri sebagai fungsi dari jarak tempuh sinyal pancar (h_v) dapat dijabarkan pada Persamaan 2.7.

$$L_{g(dB)} = 20 \log(2h_v) + 20 \log(f) + 20 \log\left(\frac{4\pi}{c}\right) \quad (2.7)$$

Total atenuasi dari sistem radar dapat ditabelkan pada Tabel 1 (McNamara dan Davies, 1990) dimana beberapa parameter mempunyai efek nilai atenuasi yang beragam.

Menentukan kapabilitas deteksi (*detection capability*) dari sistem radar merupakan konstrain utama dalam desain radar. Proses deteksi target/objek radar terbagi kedalam beberapa tahapan, yaitu dari penerimaan sinyal, proses penjabaran sinyal yang diterima sampai kepada tahap keputusan sinyal tersebut datang dari target atau bukan. Tahapan tersebut dapat diekspresikan sebagai Persamaan 2.8.

$$y_{\hat{d}t}(t_n) = f(P_{fa}, P_D, S/N) \quad (2.8)$$

dimana :

$y_{\hat{d}t}(t_n)$: fungsi diskrit keluaran

P_{fa} : probabilitas *false-alarm*

P_D : probabilitas deteksi

S/N : Signal to Noise Rasio

Nilai probabilitas *false-alarm* adalah nilai kemungkinan sistem radar melakukan kesalahan dalam mendeteksi obyek yang diamati akibat adanya obyek lain yang ikut terdeteksi pada rentang waktu pengamatan. Sedangkan nilai probabilitas deteksi adalah nilai kemungkinan sistem radar untuk mengenali objek pengamatan disaat *noise* yang muncul sangat intens.

Kedua nilai probabilitas ini dapat ditetapkan untuk meningkatkan kapabilitas deteksi sistem radar dengan mengimplementasikan koheren integrasi pada sisi radar detektor. Dan untuk sisi pemancar dapat diimplementasikan dengan metode kompresi sinyal terkodekan (*coded pulse compression*) dimana pada sistem *pulsed-radar* digunakan *bi-phase coded pulse compression* (Skolnik, 1980).

Tabel 2.1 Parameter Atenuasi (McNamara dan Davies, 1990)

Parameter	Min.	Max.
Geometric (composite)	80	120
Ionospheric absorption	1	20
Polarisation decoupling	3	6
Focusing effects	-8	8
Deviative attenuation	1	2
System losses	1	2
Layer shielding	0	2
Antennas gains	-4	0
Total attenuation	74	160

2.1.1 Metode Transmisi Sinyal Terkodekan Fasa

Implementasi sinyal pancar yang dikodekan fasa bertujuan untuk meningkatkan resolusi dan *bandwidth* radar. Dengan prinsip kode fasa ini, dapat meningkatkan maksimum jarak yang dapat dipantau dan akan mempunyai imunitas yang lebih baik terhadap derau.

Dalam sistem radar dengan teknik pemancar dengan pemodulasi, rasio S/N lebih lanjut dapat dijabarkan sebagai Persamaan 2.9.

$$\frac{S}{N} = \frac{Es}{\delta t \cdot N} \quad (2.9)$$

dimana:

S/N : Rasio Signal to Noise

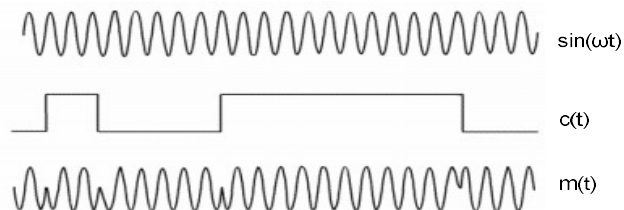
Es : Energi/Daya Pancar radar

δt : Lebar pulsa pemodulasi

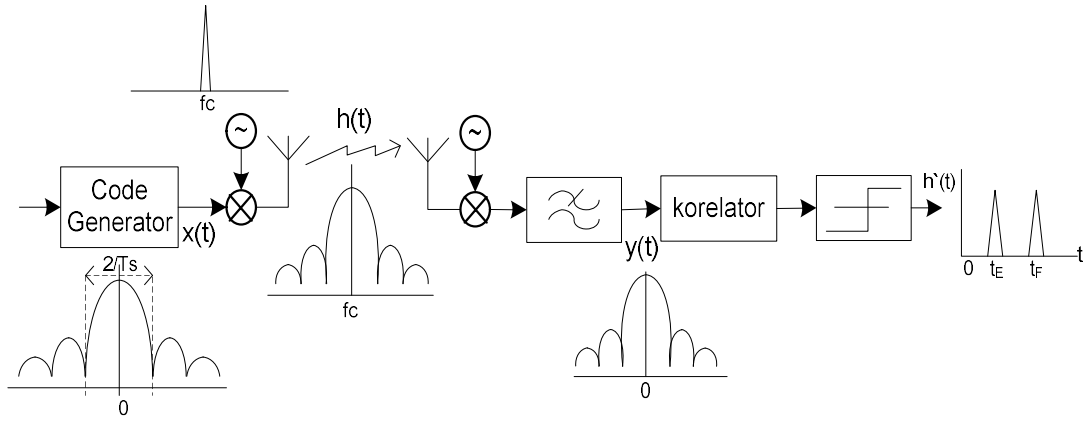
N : Jumlah bit modulasi

Sehingga dari Persamaan 2.9 dapat disimpulkan bahwa nilai S (sinyal) merupakan fungsi dari Es dibagi dengan δt . Dengan mengkodekan pulsa sebesar δt maka Fungsi Es dan δt dapat secara independen diubah tanpa berpengaruh satu dengan yang lain. Sehingga jumlah bit pemodulasi N dapat menggunakan kode pulsa yang panjang dengan δt yang kecil untuk meningkatkan kemampuan deteksi obyek radar.

Pewaktuan pada sistim pemancaran pulsa terkode dalam hal ini total δt , menentukan besaran resolusi yang dihasilkan dalam deteksi obyek. Sekuen dari kode dalam satu pulsa pancar juga menentukan seberapa akurat deteksi untuk setiap resolusi. Sekuen kode yang dipancarkan harus mempunyai karakteristik *Aperiodic AutoCorrelation Function* (AACF) yang ideal. Dengan karakteristik AACF yang ideal, maka akan dihasilkan *Peak Sidelobe Level* (PSL) yang kecil. Nilai PSL menentukan kemampuan radar dalam menekan sidelobe yang berasal sinyal pantul dari luar satu resolusi yang diamati. Kode *Barker* dan kode *Complementary* mempunyai karakteristik AACF yang ideal.



Gambar 2.7 Sinyal Terkode Fase



Gambar 2.8 Blok Diagram Sistem dengan Korelator

Dari Gambar 2.8, respon keluaran korelator pada sisi penerima ($\rho(\tau)$) dapat dihitung dengan mengkonvolusi $x(t)$ dengan impuls respon dari kanal $h(t)$ sebagai fungsi auto korelasi $x(t - \tau)$, dirumuskan dengan Persamaan 2.10 dan ekuilaven dengan Persamaan 2.11.

$$\rho(\tau) = \langle (x(t) * h(t)) x(t - \tau) \rangle \quad (2.10)$$

$$\rho(\tau) = \langle (x(t) x(t - \tau)) * h(t) \rangle \quad (2.11)$$

Sehingga $(x(t) x(t - \tau))$ merupakan fungsi autokorelasi dari $x(t)$ dengan karakteristik keluaran autokorelasi sesuai dengan kode biner yang diaplikasikan, seperti pada Gambar 2.9 untuk keluaran autokorelasi Kode Barker 7 Bit.

Jika diumpamakan respon kanal $h(t) = \alpha_E \delta(t - t_E) + \alpha_F \delta(t - t_F)$ dari pantulan lapisan E dan F, maka apabila dikonvolusi dengan keluaran autokorelasi kode akan menghasilkan respon kanal pada sisi penerima $h'(t)$ seperti diilustrasikan pada Gambar 2.8.

Gambar 2.7 mengilustrasikan sinyal pembawa (*carrier*) $\sin(\omega t)$ dikalikan dengan bit sekuen dari kode fasa $c(t)$. Dimana total panjang sekuen merupakan lebar pulsa pancar. Durasi dari sebuah bit dinamakan sub-pulsa dimana menentukan bandwidth dari sinyal pancar (semakin sempit sub-pulsa maka semakin lebar bandwidth sinyal). Sinyal $m(t) = \sin(\omega t)$ jika $c(t) = 1$ atau $m(t) = \sin(\omega t + \pi)$ untuk $c(t) = -1$ dengan persamaan 2.12

$$m(t) = c(t)e^{j(\omega t - \theta)} \quad (2.12)$$

Sinyal $m(t)$ dipancarkan dan dideteksi sinyal pantulnya yaitu sinyal $s(t)$ yang mempunyai karakteristik yang sama dengan sinyal pancar $m(t)$ tercampur dengan derau $N(t)$ dan dengan amplitude yang jauh lebih kecil serta dengan delay d akibat dari efek multipath, diformulasikan persamaan 2.14

$$s(t) = \sum_i a_i c_i(t) e^{j(\omega t - \theta_i)} \quad (2.13)$$

sehingga,

$$s(t) = \sum_i a_i m_i(t - d_i) \quad (2.14)$$

Dan apabila sinyal $s(t)$ yang diterima dicuplik dengan ADC dan menghasilkan komponen cuplik n maka persamaan 2.14 pada ranah diskrit menjadi :

$$b(n) = \sum_i A_i c(n - d_i) \quad (2.15)$$

Pemrosesan korelasi sinyal diskrit pada sinyal baseband $b(n)$ yang mengandung kode sekuen dari pantulan $c(n)$ dapat dituliskan dengan persamaan 2.16

$$C_{bc}(n) = b(n) * c(n) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M b(n + m) \cdot c(m) \quad (2.16)$$

dimana N adalah jumlah cuplik, dan M adalah panjang kode yang dipancarkan. Gain yang dihasilkan dari proses korelasi ini adalah sebesar G_c .

$$G_c = 20 \log \sqrt{M} (dB) \quad (2.17)$$

Pada pemrosesan korelasi sinyal pada ranah frekuensi merupakan proses perkalian antara komplek konjugate dari sinyal yang dipancarkan dengan sinyal yang diterima

$$C_{bc}(n) = b(n) * c(n) = B(\omega_n) \cdot C(\omega_n)^* \quad (2.18)$$

Dimana $B(\omega_n)$ adalah Diskrit Fourier Transform dari sinyal baseband (sinyal pantul) dan $C(\omega_n)$ adalah sinyal radar terkode fasa yang dipancarkan. Lebih jauh untuk dapat meningkatkan deteksi dapat dilakukan dengan menjumlahkan beberapa sinyal pantul yang diterima (proses *Coherent Integration*). Proses ini akan menghasilkan gain dari K jumlah sinyal yang di integrasi, sebesar G_{ci}

$$G_{ci} = 20 \log \sqrt{K} (dB) \quad (2.19)$$

Jumlah K sinyal integrasi harus diperhitungkan karena perubahan fasa dari sinyal-sinyal yang diintegrasi mengakibatkan proses ini tidak efektif.

Barker Code merupakan metode yang akan diteliti dalam desain radar ini. Dimana autokorelasi dari kode Barker dirumuskan sebagai Persamaan 2.20.

$$C_v = \sum_{j=1}^{N-v} a_j a_{j+v} \quad (2.20)$$

dimana:

C_v : Koefisien Korelasi untuk deret v

N : Panjang kode

a : *Finite* sekuen +1 atau -1

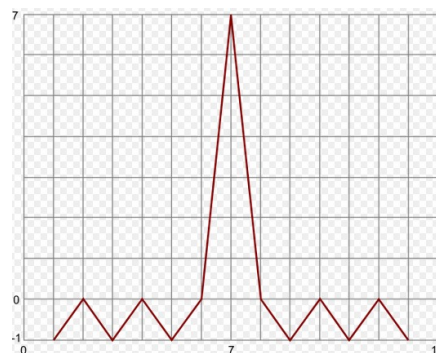
dengan :

$$|C_v| \leq 1 \quad \text{untuk } 1 \leq v \leq N$$

Sinyal pancar yang dikodekan dengan kode tertentu kemudian dideteksi pantulannya dan dalam blok korelator. Kode yang dideteksi akan dikorelasi dengan kode yang dipancarkan. Hasil dari korelator akan menghasilkan satu nilai yang bila di atas ambang deteksi, maka dianggap adanya objek yang dapat teramati.

Tabel 2.2 Kode Barker

Length	Codes	
2	+1 -1	+1 +1
3	+1 +1 -1	
4	+1 +1 -1 +1	+1 +1 +1 -1
5	+1 +1 +1 -1 +1	
7	+1 +1 +1 -1 -1 +1 -1	
11	+1 +1 +1 -1 -1 -1 +1 -1 -1 +1 -1	
13	+1 +1 +1 +1 +1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 -1 +1	



Gambar 2.9 Fungsi Autokorelasi Kode Barker 7 Bit (Mahafza, 2000)

2.1.2 Receiver Super Heterodyne

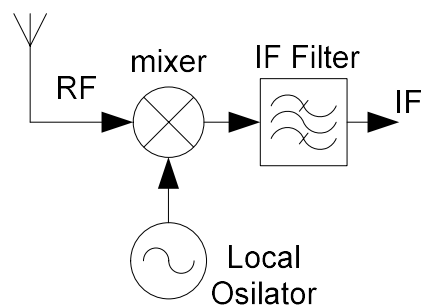
Penerima *Super Heterodyne* berfungsi merubah besaran frekuensi yang diterima ke besaran frekuensi yang dapat diproses oleh blok demodulator (translasi frekuensi). Besaran frekuensi yang dihasilkan/ditanslasikan disebut *Intermediate Frequency* (IF). Besaran nilai IF ini disesuaikan dengan *requirement* yang diperlukan oleh modul demodulator, seperti nilai IF yang tetap (*fixed*) dan maksimum kecepatan ADC yang digunakan untuk digital demodulator (maksimum cuplik).

Penerima *Super Heterodyne* ini memiliki 2 komponen utama yaitu *Mixer* dan Osilator Lokal. Dengan menggunakan komponen *mixer*, maka hal yang perlu dipertimbangkan adalah sifat *mixer* dimana dua komponen frekuensi yang dicampur akan menghasilkan frekuensi beda dan frekuensi jumlah, sehingga diperlukan komponen filter untuk menghasilkan penerima yang selektif pada frekuensi tertentu.

Hal lain yang memerlukan atensi pada sistem penerima ini adalah *Image Frequency*. Dimana frekuensi ini (*image*) akan mengakibatkan interferensi sinyal, karena sinyal pantul yang ditangkap akan tercampur dengan sinyal *image*, sehingga kapabilitas penerima dalam deteksi sinyal pantul akan menurun. Pada IF frekuensi beda antara frekuensi lokal Osilator f_O dan frekuensi sinyal pantul f_{s1} , pada persamaan 2.21.

$$f_O - f_{s1} = IF \quad (2.21)$$

Jika ada sinyal lain (f_{s2}) yang frekuensinya lebih tinggi dari frekuensi lokal Osilator f_O , dan sinyal tersebut melewati mixer kemudian beda keduanya bernilai sama dengan IF sehingga menghasilkan IF yang sama dengan sinyal f_{s1}



Gambar 2.10 Rangkaian Dasar Penerima *Super Heterodyne*

seperti pada persamaan 2.22

$$f_{s2} - f_o = IF \quad (2.22)$$

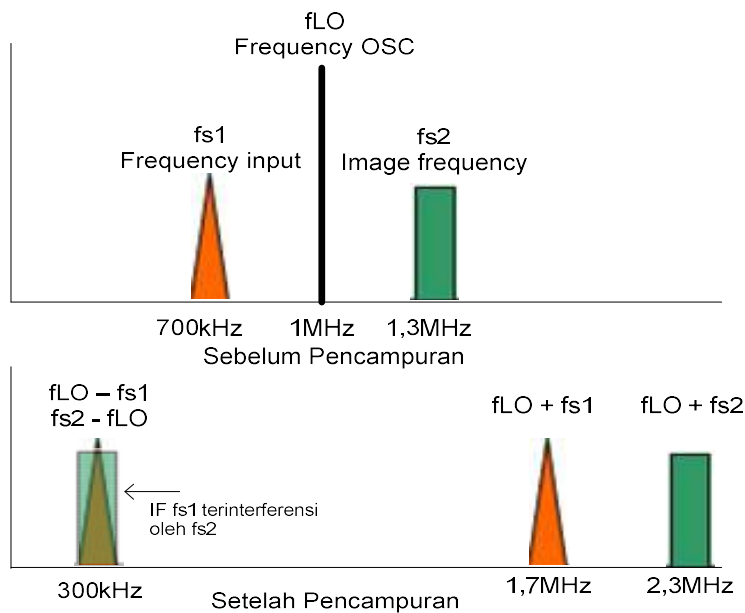
dan menggabungkan persamaan 2.21 dan 2.22

$$f_{s2} - f_{s1} = 2IF \quad (2.23)$$

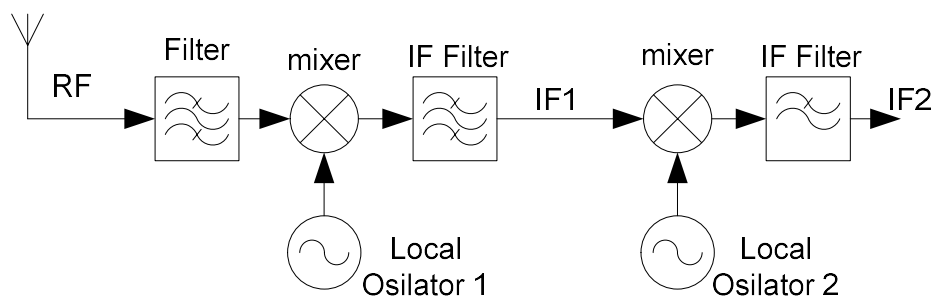
sehingga ,

$$f_{s2} = f_{s1} + 2IF \quad (2.24)$$

Untuk mencegah masuknya sinyal frekuensi f_{s2} dan tertranslansi dalam sinyal IF , maka diperlukan filter *Band Pass* yang tidak akan meloloskan frekuensi f_{s2} masuk ke bagian *mixer*.



Gambar 2.11 *Frequency Image* Pada Pencampuran



Gambar 2.12 Rangkaian *Super Heterodyne* 2 Tingkat

2.1.3 Hilbert Transformation

Dalam proses pengolahan sinyal, sinyal analitis adalah sebuah fungsi kompleks yang tidak mengandung komponen frekuensi negatif. Komponen riil dan imajiner dari sebuah sinyal analitik adalah fungsi riil yang ditransformasi oleh filter *Hilbert*. Dalam sebuah sinyal analitik, komponen imajinernya adalah *Hilbert Transform* dari komponen riil-nya.

Hilbert Transform dari sinyal $x(t)$ adalah sinyal $\hat{x}(t)$ dengan komponen frekuensinya mempunyai *lag* sebesar 90° dari komponen sinyal $x(t)$. Sinyal $\hat{x}(t)$ mempunyai frekuensi komponen dan amplitudo yang sama dengan $x(t)$ kecuali dengan delay sebesar 90° . Sehingga, *Hilbert Transform* dari $x(t) = A \cos(2\pi f_o t + \theta)$ adalah $A \cos(2\pi f_o t + \theta - 90^\circ) = A \sin(2\pi f_o t + \theta)$.

Delay pada sinyal $x(t)$ sebesar $\pi/2$ pada tiap frekuensi oleh Transformasi Hilbert, yaitu

$$e^{j2\pi f_o t} \text{ menjadi } e^{j2\pi f_o t - \frac{\pi}{2}} = -je^{j2\pi f_o t} \quad (2.25)$$

$$e^{-j2\pi f_o t} \text{ menjadi } e^{-j(2\pi f_o t - \frac{\pi}{2})} = je^{j2\pi f_o t} \quad (2.26)$$

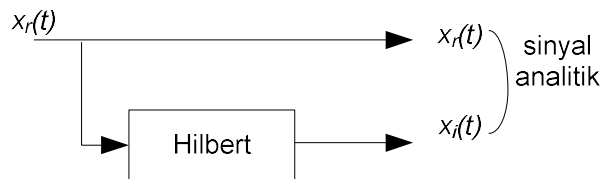
disimpulkan bahwa, pada frekuensi positif spektrum sinyal dikalikan dengan $-j$ dan pada frekuensi negatif spektrum sinyal dikalikan dengan $+j$. Sehingga dapat dikatakan spektrum sinyal (Transformasi Fourier) dari sinyal $x(t)$ dikalikan dengan $-j\text{sgn}(f)$.

Jika diasumsikan sinyal $x(t)$ adalah bernilai riil dimana $X(f)|_{f=0} = 0$, maka

$$F[\hat{x}(t)] = -j\text{sgn}(f)X(f) \quad (2.27)$$

dan,
$$F^{-1}[-j\text{sgn}(f)] = \frac{1}{\pi t} \quad (2.28)$$

$$\hat{x}(t) = \frac{1}{\pi t} * x(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{t - \tau} d\tau \quad (2.29)$$



Gambar 2.13 Skema *Hilbert Transform*

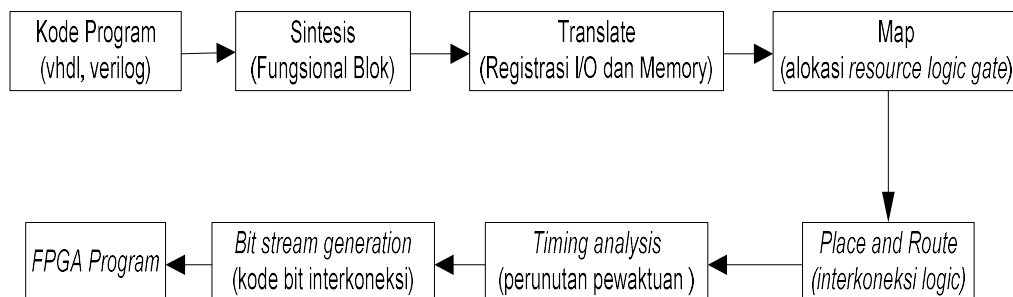
dari persamaan 2.29 disimpulkan bahwa operasi dari sebuah Transformasi Hilbert merupakan operasi konvolusi pada sebuah Filter, dengan impuls respon (Romero, 2012):

$$h(n) = \begin{cases} \frac{2}{n\pi} \sin^2\left(\frac{n\pi}{2}\right) & \text{untuk } n \neq 0 \\ 0 & \text{untuk } n = 0 \end{cases} \quad (2.30)$$

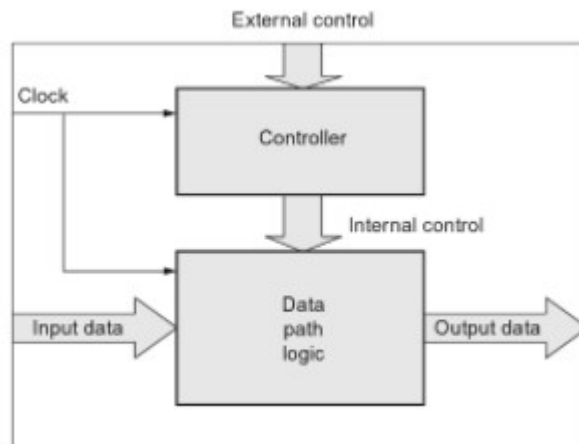
2.3 Modul FPGA

Dalam desain radar penggunaan FPGA menjadi sangat penting karena desain antar subsistem dapat dilakukan secara independen antar modul/sub sistem. Dengan FPGA ini teknik pengolahan sinyal dan deteksi sinyal dapat dilakukan secara iteratif dan dapat direkonfigurasi.

Dalam proses pemrograman FPGA terdapat beberapa step yang terlihat pada Gambar 2.14. Pada pemrograman FPGA, Fungsional Blok (seperti Adder, Counter, dan lainnya) disintesis berdasarkan kode program yang terdiri dari 3 bagian utama dalam membentuk satu blok fungsional yaitu: modul, port dan behavioral. Modul merupakan inisiasi blok yang mendeskripsikan fungsi blok, seperti sebuah prosedur fungsi pada pemrograman C. Pada modul terdiri dari Port yang memberikan interkoneksi ke modul lain. Behavioral pada modul terdiri dari register dan interkoneksinya, proses pada behavioral akan memberikan output pada Port pada modul dan yang menentukan fungsional modul yang diinisiasi.



Gambar 2.14 Skema Pemrograman FPGA (*Xilinx Application Note*, 2015)



Gambar 2.15 Implementasi Sirkuit Digital Pada FPGA (Wilson, 2007)

Pada bagian behavioral FPGA merupakan serangkaian program yang membentuk kontroler dengan koneksi ke satu atau lebih jalur data (*data path*). Rangkaian kontroler dan *data path* (jalur data) merupakan rangkaian yang membentuk satu fungsi keluaran. Pada kontroler merupakan satu *Finite State Machine* (FSM) dan jalur data terdiri dari kombinasi logika, seperti pada Gambar 2.15.

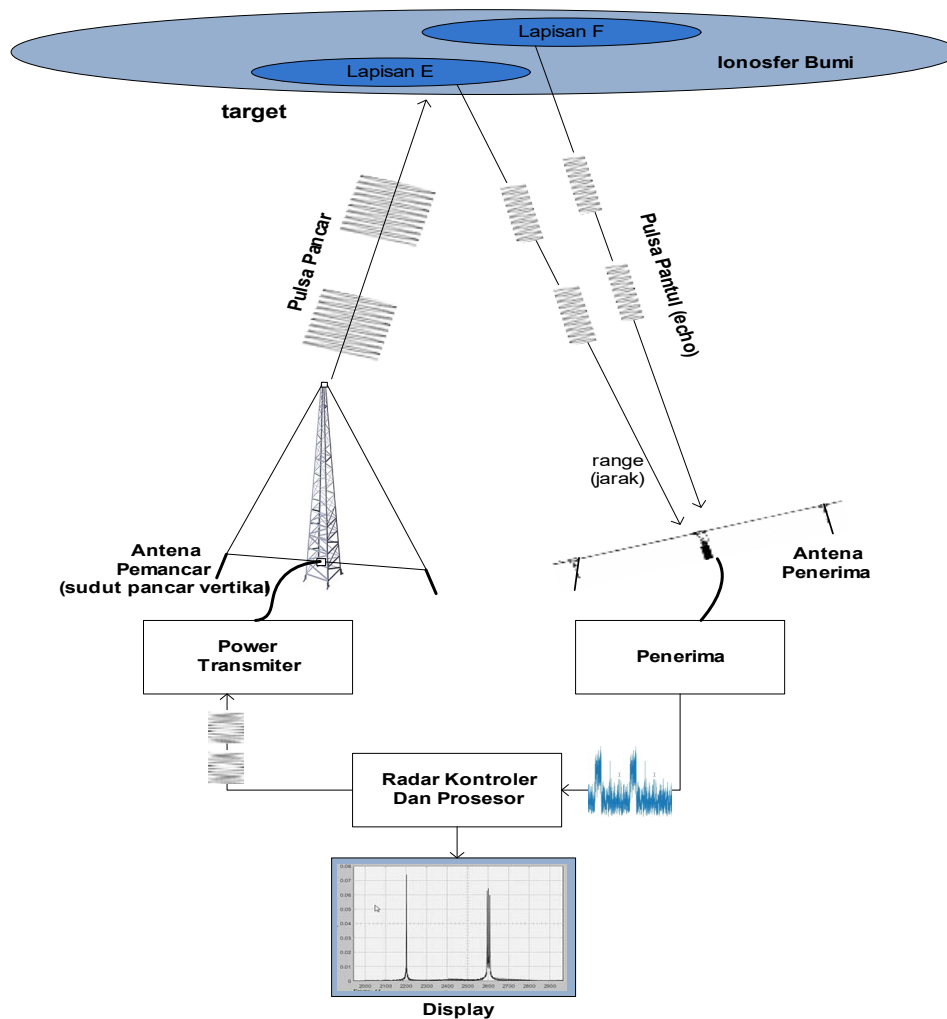
Berbeda pada pemrograman mikrokontroler yang lebih kepada eksekusi program berdasar pada iterasi program counter, pada FPGA eksekusi program berdasarkan perubahan/ transisi antar status (*state*) yang perubahannya sinkron terhadap clock dan dapat terjadi secara paralel.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

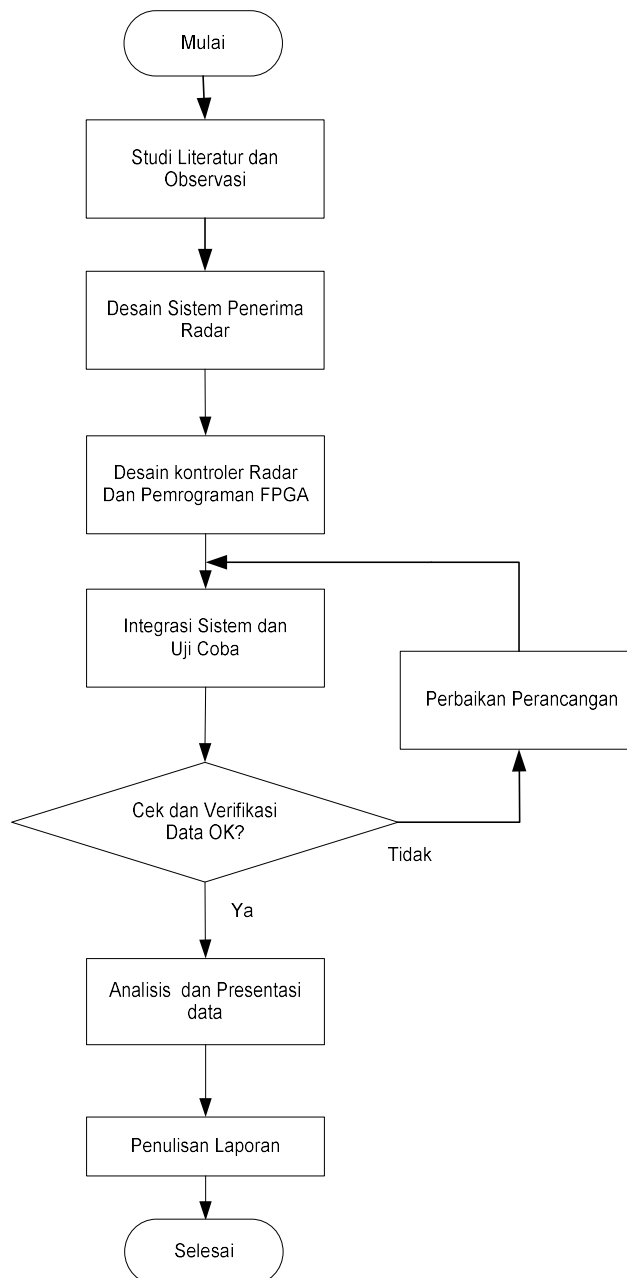
METODOLOGI PENELITIAN

Radar HF dirancang dan digunakan untuk mengamati karakteristik lapisan ionosfer bumi di daerah ekuator. Pada penelitian ini, sinyal yang dipancarkan Radar berupa sinyal pulsa yang dibentuk oleh kontroler kemudian ditransmisikan secara vertikal ke atas ke arah target Radar berupa lapisan ionosfer bumi. Pulsa pantul yang kembali ke bumi dideteksi dan dikuatkan oleh bagian penerima. Informasi mengenai jarak dan intensitas pulsa pantul kemudian diproses dan ditampilkan.



Gambar 3.1 Ilustrasi Radar HF dengan Target Lapisan Ionosfer

Proses penelitian ini terdapat beberapa tahap yang dilakukan, yaitu : studi literatur dan observasi dilanjutkan dengan menyusun *design requirement*, pembuatan rangkaian istem penerima, desain radar kontroler/prosesor dan pemrograman FPGA, integrasi sistem dan uji coba, cek dan verifikasi data testing, dan perbaikan perancangan, analisis serta presentasi data dan terakhir adalah pelaporan. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.

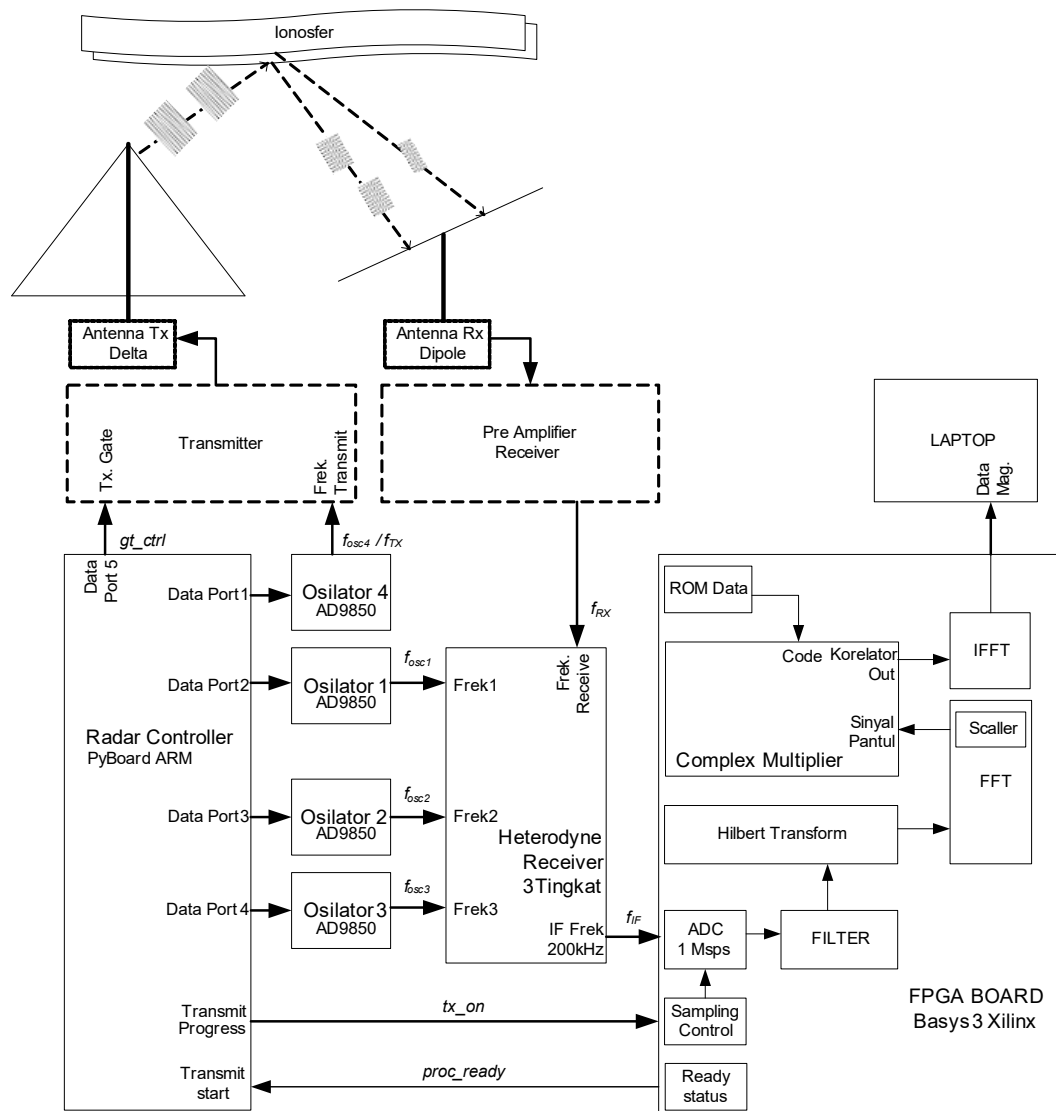


Gambar 3.2 Tahapan Proses Penelitian

3.1 Disain Sistem Radar

Blok disain sistem Radar yang dirancang seperti pada Gambar 3.3 dimana dapat dibagi menjadi empat sub sistem yaitu Radar Kontroler, Osilator, Penerima *Heterodyne* dan Modul FPGA. Pada sub sistem Transmitter, Pre amplifier dan Antena digunakan yang sudah tersedia pada lokasi uji coba.

Blok *Radar Controller* menggunakan board *Pyboard* Mikrokontroller *ARM Cortex M4* dengan pemrograman *Python 2.7*, spesifikasi dapat dilihat pada Lampiran 1. Blok Osilator menggunakan modul board terintegrasi AD9850 dimana rangkaian terintegrasinya dapat dilihat pada Lampiran 2. Pada blok



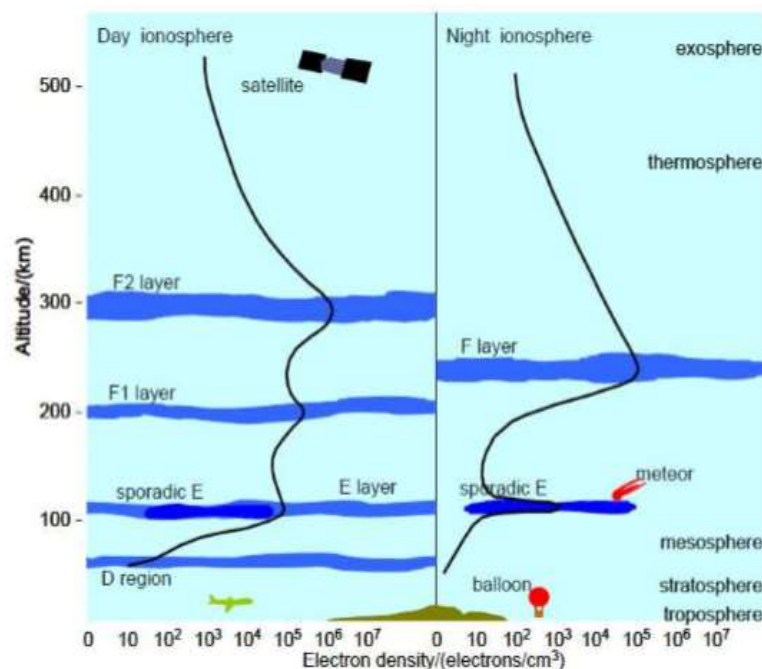
Gambar 3.3 Diagram Blok Desain Radar

penerima *heterodyne*, pada tiap tingkatnya terdiri dari sebuah komponen *mixer*, filter dan penguat. Pada blok FPGA, digunakan modul pelatihan *BASYS 3 Xilinx*.

3.2 Karakteristik Ionosfer Pada Daerah Ekuator

Pada daerah ekuator bumi dimana merupakan daerah lintasan matahari mengakibatkan efek pemanasan pada lapisan ionosfer bumi mencapai puncak. Sehingga lapisan-lapisan ionosfer seperti lapisan D, E dan F₁ serta F₂ yang terbentuk maupun yang terdeformasi lebih fluktuatif pada siang hari dibandingkan dengan daerah-daerah Lintang Utara maupun Lintang Selatan. Penelitian karakteristik lapisan ionosfer ini dilakukan di atas daerah lokasi uji di Balai Pengamatan Sumedang pada 6 derajat Lintang Selatan, dengan waktu sore dan malam hari.

Karakteristik ionosfer daerah ekuator di waktu sore hari, menurut pola hariannya akan terbentuk lapisan E yang tingkat kerapatan ionnya maksimum pada ketinggian 100 km sampai 150 km dan akan memantulkan sinyal pada frekuensi di rentang minimum 2 MHz sampai maksimum 11 MHz.



Gambar 3.4 Struktur Lapisan Ionosfer Daerah Lintang Rendah (McNamara, 1990)

Sedangkan karakteristik saat malam hari, lapisan E akan terdeformasi dan hilang, kemudian tingkat perubahan lapisan F lebih landai yang konsentrasi ion pada lapisan F cenderung stabil sepanjang malam. Lapisan F akan berada di ketinggian 300 km sampai 600 km dengan memantulkan sinyal pada frekuensi minimum 6 Mhz sampai maksimum 21 Mhz.

Untuk mendeteksi kemunculan lapisan E dan F tersebut akan dipancarkan sinyal secara vertikal dengan frekuensi pancar 3 MHz, 3,5 MHz, 4 MHz, 4,5 MHz, 5 MHz, dan 5.5 MHz untuk sore hari pukul 17.00 WIB dan frekuensi 6 MHz, 7 MHz, 8 MHz, 10 MHz dan 12 MHz untuk malam hari antara pukul 19.00 WIB dan 20.00 WIB.

3.2.1 Menentukan Link budget

Penelitian ini diawali dengan pengamatan frekuensi interferensi, untuk rentang 2-20 Mhz di sekitar lokasi uji, sehingga didapat nilai derau rata-rata pada saat pengukuran. Setelah nilai tersebut diperoleh maka dilakukan perhitungan *Link Budget* kanal yang akan digunakan, untuk ini kanal diambil secara acak yaitu di 5 Mhz. Perhitungan ini diperuntukkan untuk mengestimasi besaran daya yang diterima dari sinyal yang dipantulkan oleh ionosfer dengan analisa *path-loss*. Dimana persamaan model *path-loss* adalah dari persamaan 2.6.

Tabel 3.1 Parameter Link Budget.

Parameter	Nominal
Ketinggian Ionosfer (h), (d = 2x h)	h = 300 km, d = 600 km
Rugi Geometri (L_g) (Persamaan 2.7)	102 dB
Rugi Redaman (L_a) (McNamara, 1990)	20 dB
Rugi Sistem	2 dB
Redaman Total (L)	124 dB
Gain Antenna Pemancar	5 dBi (<i>datasheet</i>)
Gain Antenna Penerima + PreAmp	13 dB (<i>datasheet</i>)
Daya Transmitter	700 W = 58,3 dBm
Daya Diterima	- 47,7dBm

3.3 Perancangan Sinyal Pulsa Transmisi

Sinyal pulsa yang digunakan adalah sinyal dikodekan dengan kode Barker 13 bit dengan periode sub-pulsa sebesar 26μ detik dan lebar pulsa sebesar 338μ ($13 \times 26\mu$) detik. Lebar pulsa sebesar 338μ detik akan menghasilkan minimum jarak yang dapat di pantau sebesar (dari persamaan 2.4) 50,7 kilometer, dan lebar sub-pulsa sebesar 26μ detik akan menghasilkan resolusi ketinggian sebesar 3,9 kilometer.

Sinyal transmisi akan dipancarkan dan sinyal pantul akan di ‘dengar’ oleh modul penerima dengan ADC menggunakan kecepatan cuplik sebesar 1 Msps (*Mega Sample per Second*). Sampel yang dicuplik sebesar $n = 4096$ poin, dimana konsekuensi waktu sampel dengan $t_s = 4096 \times 1\mu$ detik = ~ 4 mili detik. Sehingga dengan persamaan 2.4, maksimum jarak yang dapat dipantau oleh radar adalah sebesar 615 kilometer ditambah jarak minimumnya, yaitu sebesar 665.5 kilometer.

Tabel 3.2 Parameter Pulsa Transmit

Parameter	Nominal
Jumlah Bit, kode	13, Barker
Lebar Pulsa	338μ detik
Lebar Sub-Pulsa	26μ detik
Minimum Ketinggian	50,7 km
Maksimum Ketinggian	$615 + 50,7 \text{ km} = 665,5 \text{ km}$
Gain Korelasi Kode	11,13 dB
Daya Rata-Rata Transmitter	6.76 Watt

Dengan menggunakan 13 bit kode *Barker*, maka keluaran dari korelasi kode ini dari persamaan 2.17, gain korelasi G_c yang akan didapat sebesar 11,13 dB. Pulsa transmisi akan dipancarkan dengan *Pulsed Transmitter* buatan CADi dengan maksimum daya pancar sebesar 700 Watt. Repetisi Pulsa pancar pada radar didesain sebesar 35mili detik, sehingga daya rata-rata yang dipancarkan sebesar :

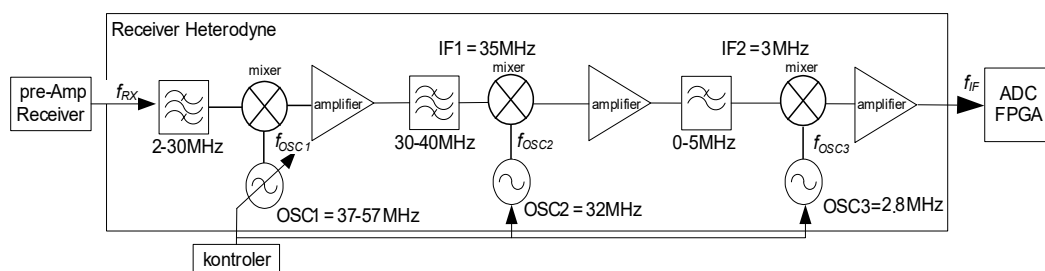
$$\frac{338\mu}{35.000\mu} \times 700 \text{ Watt} = 6,76 \text{ Watt}$$

Pembangkit sinyal menggunakan perangkat modul AD9850 dengan dikontrol oleh *PyBoard ARM Cortex M-4 STM 32* (lebih lanjut dideskripsikan pada bab 3.5).

3.4 Perancangan Penerima *Super Heterodyne*

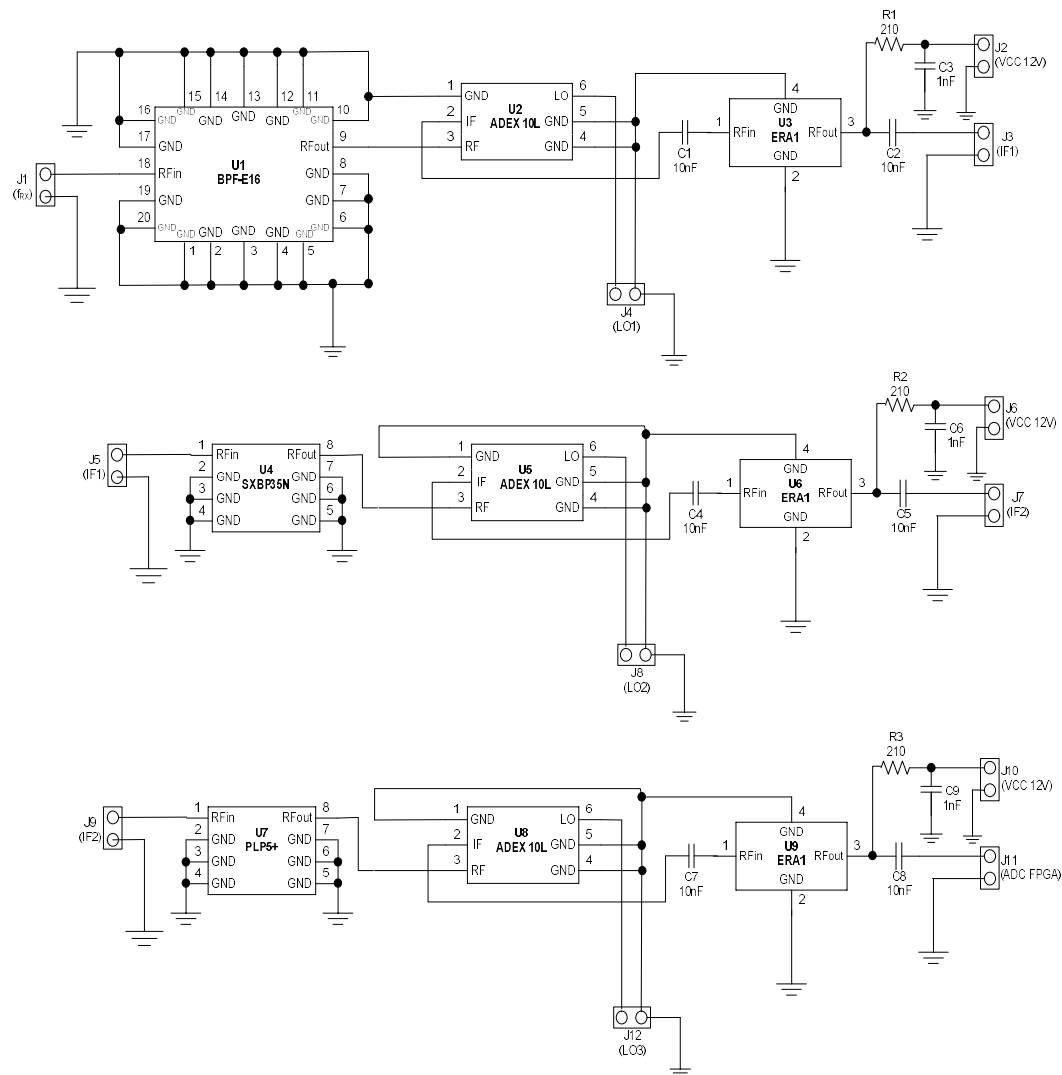
ADC yang akan digunakan mempunyai spesifikasi cuplik (*sampling*) maksimum 1 Mega sampel per detik, sehingga maksimum frekuensi yang dapat disampel adalah sebesar 500 kHz. Maka, modul translasi frekuensi pada sisi penerima diperlukan agar dapat memenuhi spesifikasi ADC yang ada. Sistem penerima *Heterodyne* dirancang agar dapat mentranslasi frekuensi pancar radar 2-22 MHz ke frekuensi yang lebih rendah (*frekuensi IF*), dirancang untuk menghasilkan *IF* sebesar 200 kHz. Frekuensi 200 kHz disampel pada ADC 1 Msps, maka setiap satu gelombang sinyal mempunyai lima buah sampel, sehingga adanya perubahan fasa (kode pancar) dapat dideteksi dengan baik.

Sistem penerima digunakan mode *Heterodyne* tiga tingkat dengan tiga keluaran *IF*. Pada sistem Radar ini, akan dipancarkan sinyal transmisi pulsa dengan frekuensi pembawa (*carrier*) dengan rentang frekuensi 2 MHz sampai dengan 22 MHz untuk mendeteksi lapisan ionosfer. Dalam proses konversi ke *IF* melibatkan proses pencampuran (*mixing*) yang dapat menghasilkan sinyal image yang harus dihindari untuk ikut diproses. Untuk menghindari sinyal *image* tersebut maka didisain tiga tahapan pencampuran dengan tiga osilator seperti pada Gambar 3.5. Pada penerima *super heterodyne* tingkat pertama *IF1* dipilih sebesar 35 Mhz, dan osilator 1 akan dicampur dan akan mentranslasi frekuensi sinyal pantul dari 2 Mhz – 22 Mhz ke frekuensi *IF1* sebesar 35 Mhz.



Gambar 3.5 *Heterodyne Receiver*

Kemudian dirancang osilator 37 Mhz – 57 Mhz yang tersinkronisasi dengan osilator untuk pemancar (Osilator 4) oleh kontroler. Image yang muncul hasil dari pencampuran antara frekuensi sinyal pantul diterima (RF) dengan Osilator 1 berada di rentang 72 Mhz – 92 Mhz ($F_{im} = 2 \times IF + RF$), sehingga dengan *BandPass* Filter 30-40 Mhz , image dapat dipisahkan dan dihindari. $IF2$ dipilih sebesar 3 Mhz, image akan berada di frekuensi 41 Mhz, dengan mengaplikasi *LowPass* Filter *PLP-5 MiniCircuit* pada frekuensi 5 Mhz, maka IF 3 Mhz dapat dengan lebar terpisah dari image dan tereliminasi. Begitupula $IF3$ di frekuensi 200 kHz, image akan berada pada frekuensi 3,4 Mhz. Pada tahap ini *LowPass* Filter direalisasikan oleh digital filter pada FPGA.

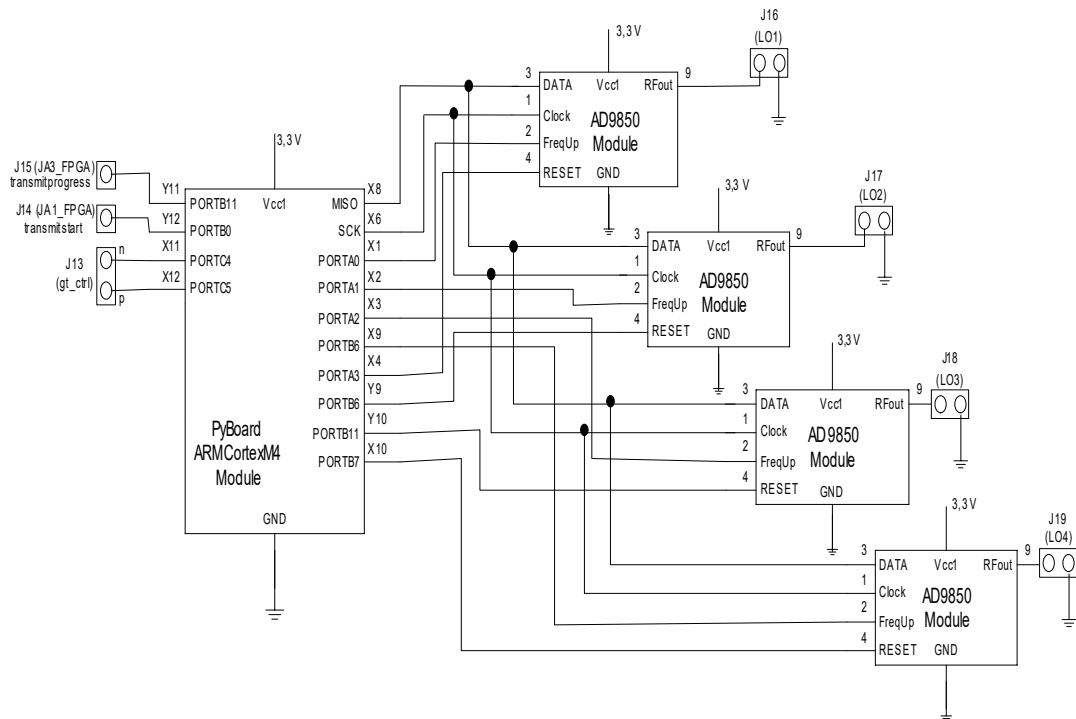


Gambar 3.6 Skematik Penerima Heterodyne Tiga Tingkat

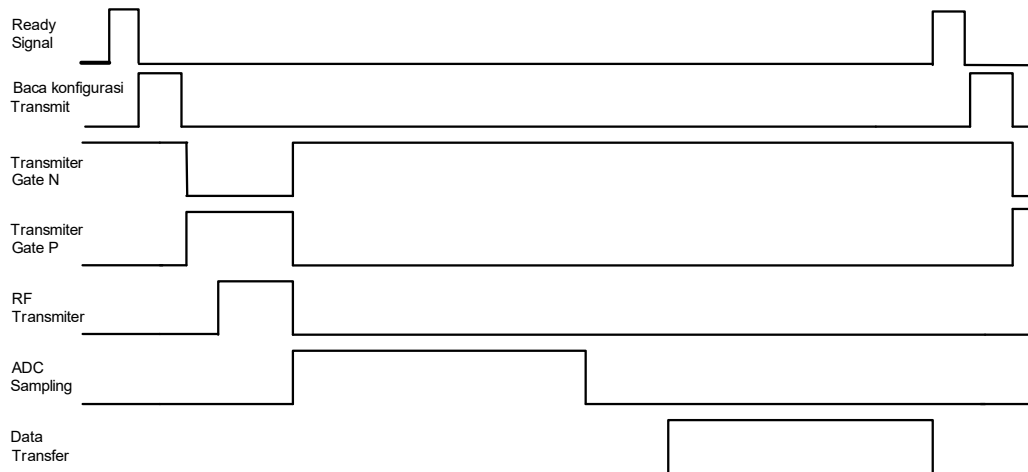
3.5 Desain Kontrol Untuk Osilator dan Pewaktuan Radar

Pembangkit sinyal menggunakan modul *Digital Signal Syntesizer* (DDS) AD9850 yang dikontrol dengan mikrokontroler *PyBoard ARM Cortex M-4 STM 32* dengan kecepatan 168 Mhz. Modul *PyBoard* adalah modul kontroler dengan bahasa pemrograman *Python* untuk memudahkan kontrol dengan fleksibel selama percobaan, karena tidak perlu untuk meng-*compile* program yang akan dijalankan. *PyBoard* digunakan untuk mengontrol DDS agar dapat menghasilkan sinyal *Barker* 13 bit lebar pulsa sebesar 338 μ s dengan lebar sub-pulsa sebesar 26 μ s.

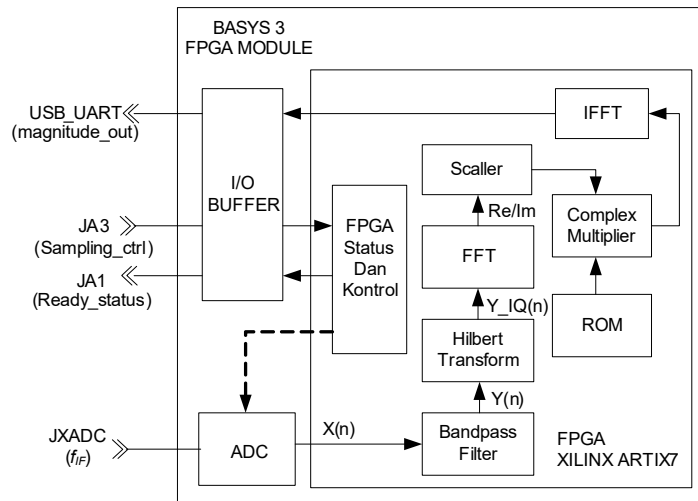
Kontroler juga untuk mengatur pewaktuan sistem Korelator, untuk mengaktifkan sistem pemancar dimana pada saat yang sama mematikan sistem penerima untuk mencegah efek saturasi dan mengaktifkan sistem ADC sesaat setelah pemancar telah selesai mengirimkan pulsa transmisi ke antenna. Juga mengatur modul *Heterodyne Receiver* untuk mengontrol osilator lokal agar menghasilkan sinyal *intermediate* yang dapat diolah oleh ADC.



Gambar 3.7 Sistem Kontrol Radar HF



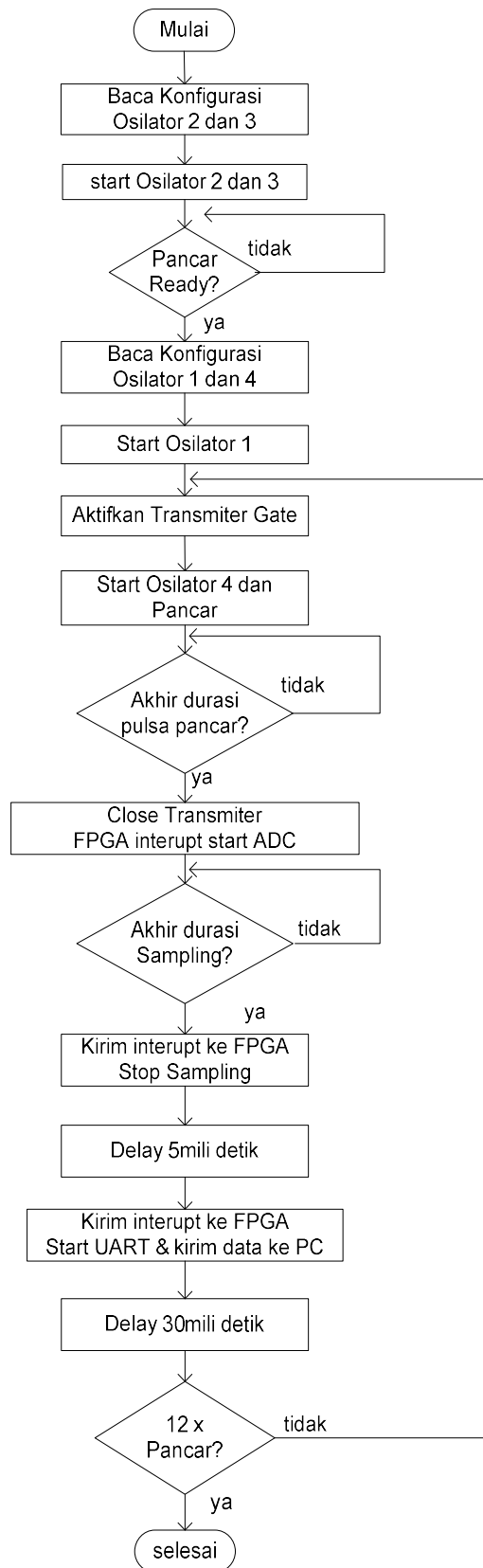
Gambar 3.8 Diagram Pewaktuan Kontrol Radar



Gambar 3.9 Proses Di Dalam FPGA

3.6 Desain Sistem FPGA

Sistem FPGA yang digunakan adalah *educational board Basys 3 Xilinx* dengan kapasitas 33.800 sel logika dalam 5200 blok, 1800 kilo bit memori untuk akses acak (RAM) dalam kompartemen 8 bit dan 16 bit, 90 sel logika khusus untuk aplikasi DSP terdiri dari modul *multiplier* dan *adder* sistolik, dengan internal *clock* 450 Mhz. Modul ini juga menyertakan *Analog to Digital Converter* (ADC) dengan maksimum cuplik sebesar satu Mega Sampel per detik (Msp/s) dimana ADC ini akan digunakan untuk mencuplik sinyal *Intermediate Frequency* (IF) dari blok penerima *Heterodyne*.



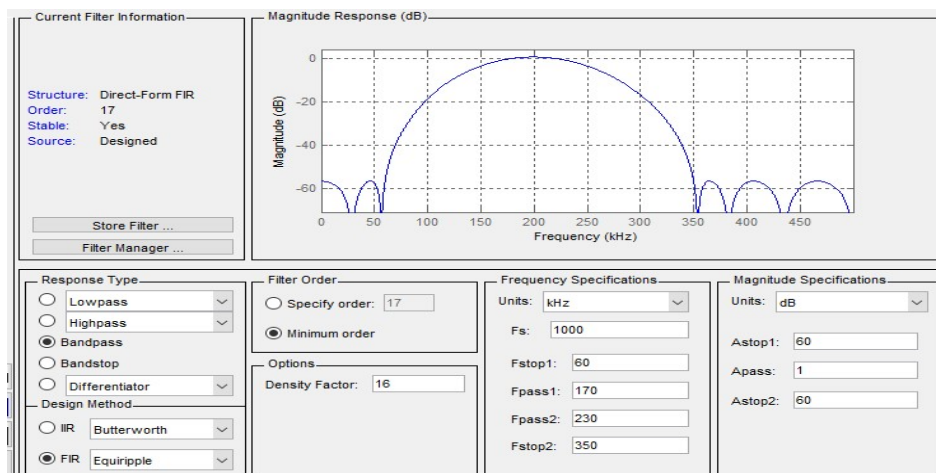
Gambar 3.10 Diagram Alur Pada Kontroler

Dalam FPGA terdiri dari empat sub bagian yang mempunyai fungsi yang tersendiri yang saling menunjang, yaitu: sub bagian ADC dan FIFO (*First In First Out*) dengan spesifikasi data sampling 12-bit dengan maksimum waktu sampling sebesar satu mikro detik, sub bagian Dua *Digital FIR* yang di *cascade* yaitu FIR Filter *Band Pass* Filter, dengan $f_{pL} = 170$ kHz dan $f_{pH} = 230$ kHz, FIR *Hilbert Transform* untuk menghasilkan sinyal analitik *Inphase* dan *Quadrature* dari sinyal diskrit *real* hasil sampling ADC, sub bagian Ekstraksi terdiri dari unit FFT, unit penyekala (*scaler*) hasil proses FFT, sepasang unit memori ROM (*Read Only Memory*) dimana kode sinyal *I* dan *Q* rujukan disimpan dan unit pengali bilangan kompleks (*Complex Multiplier*) dan sub bagian IFFT dimana nilai absolut dari keluaran sinyal merupakan keluaran dari Korelator.

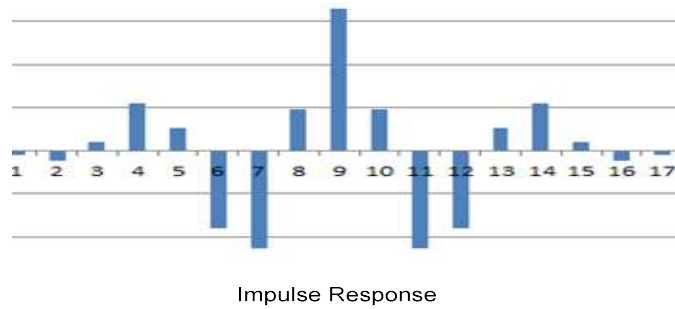
3.6.1 BandPass dan Hilbert Transformer

Modul ADC menghasilkan sampling nilai riil dari sinyal yang dideteksi sebanyak 4096 poin untuk selanjutnya disimpan dalam sebuah buffer FIFO dan difilter *band pass* dengan dengan $f_{pL} = 170$ kHz dan $f_{pH} = 230$ kHz dengan frekuensi yang diinginkan untuk dapat diproses adalah di frekuensi 200 kHz.

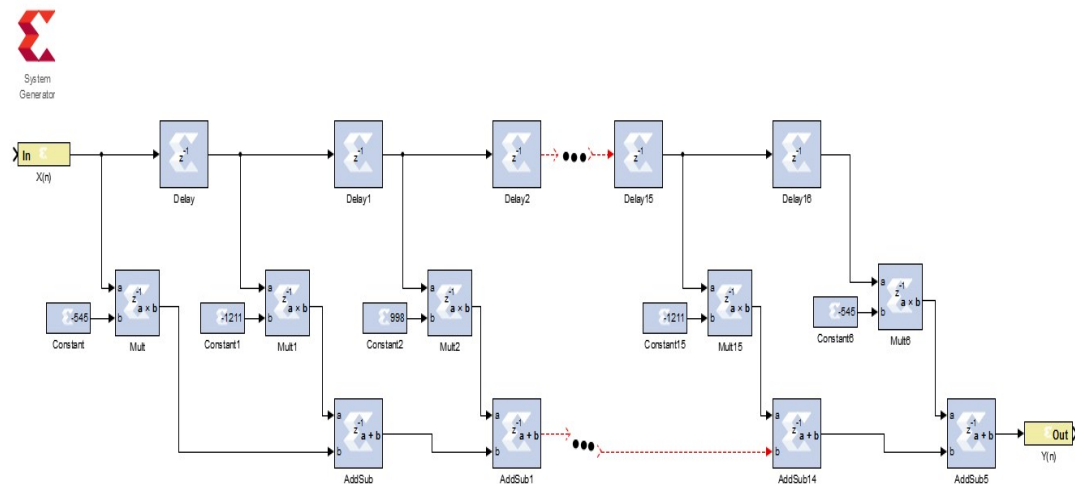
Dalam perancangan Filter menggunakan aplikasi *Matlab-Xilinx System Generator* dengan menginputkan spesifikasi Filter yang diinginkan. *System Generator* merupakan antarmuka pemrograman FPGA dengan aplikasi ini hasil perancangan Filter berupa koefisien-koefisiennya langsung dapat dimasukkan dalam ROM modul Filter yang diprogram.



Gambar 3.11 *Matlab-Xilinx System Generator* untuk Desain Filter



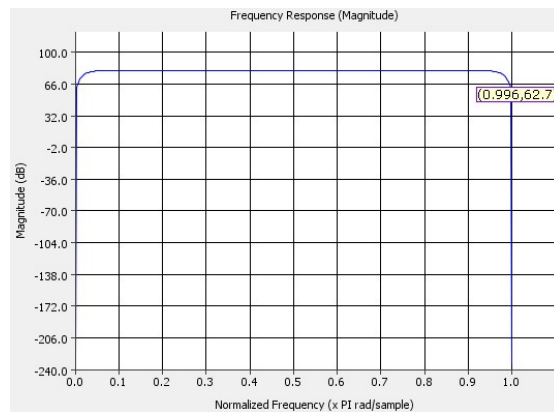
Gambar 3.12 Respon Impulse Filter FIR Bandpass 170 kHz – 230 kHz



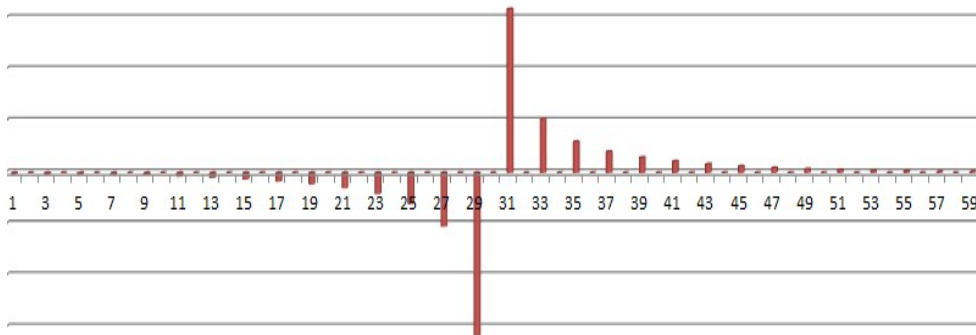
Gambar 3.13 Implementasi FIR Bandpass Pada FPGA

Dalam implementasi FPGA, spesifikasi *Bandpass* Filter dengan FIR ini dapat direalisasi dengan konfigurasi FIR orde 17 dengan tiap nilai koefisien disimpan dalam satu blok memori. Filter ini akan menghilangkan efek saluran catu daya listrik pada frekuensi 50 Hz dan komponen DC sebelum diinputkan ke modul Hilbert Transform.

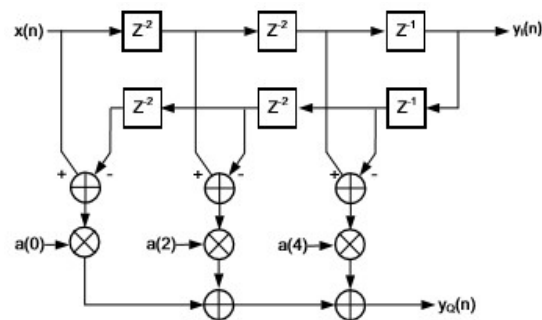
Implementasi FIR Hilbert Transform adalah untuk menghasilkan sinyal analitik dimana output dari FIR ini adalah I dan Q dari sinyal riil ADC. Transformasi Hilbert bermanfaat untuk mengurangi kebutuhan ADC dimana hanya membutuhkan satu buah ADC untuk mensample sinyal, tidak diperlukan dua buah ADC untuk masing-masing I dan Q .



Gambar 3.14 Respon Frekuensi Pada FIR Hilbert Transform

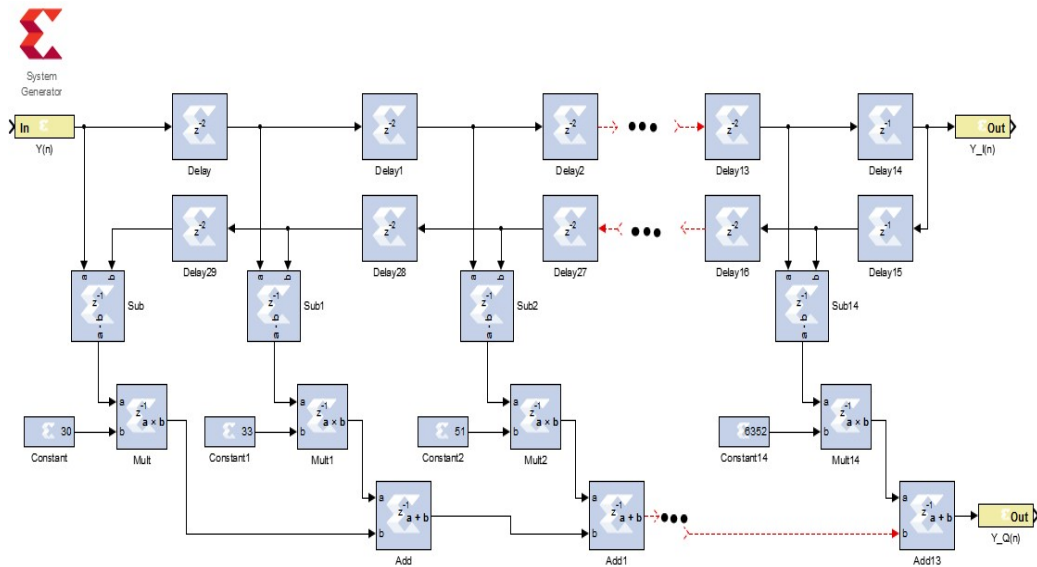


Gambar 3.15 Respons Impulse FIR Hilbert Transform



Gambar 3.16 Konfigurasi Hilbert Transform (*Xilinx Application Notes, 2014*)

Realisasi Hilbert Transform pada FPGA dengan orde 59 didapat dari aplikasi *Matlab-Xilinx System Generator*. Output nilai koefisien dalam file .coe, diinputkan pada modul ROM Filter. Impulse respons dari FIR Hilbert transformer mempunyai karakteristik simetri pada koefisien ganjilnya dan mempunyai nilai nol setiap selangnya. Dapat dilihat pula bahwa terdapat susunan simetri negatif di koefisien-koefisiennya. Sehingga dari karakteristik ini implementasi dalam perangkat FPGA dapat direalisasikan dalam konfigurasi seperti pada gambar 3.16.



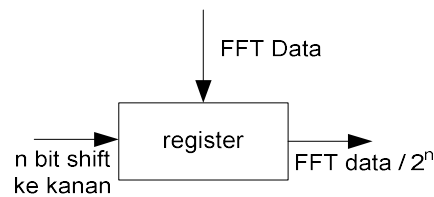
Gambar 3.17 Implementasi Hilbert Transform Pada FPGA

3.6.2 FFT dan Scaler

Keluaran dari Hilbert Transform adalah sinyal analitik *Inphase* dan *Quadrature*, yang selanjutnya ditransformasikan Fourier sebelum dikorelasikan dengan sinyal kode acuan pada blok Korelator. Dalam proses transformasi FFT sampel 4096 poin pada FPGA, ada keterbatasan dalam lebar bit (*bit width*) dalam memory yang terlibat dalam proses transformasi. Arsitektur FPGA menggunakan algoritma Butterflies Radix-4 atau Radix-2. Proses tiap tahap perhitungan *butterflies* akan meningkatkan jumlah bit (*bit growth*), dimana pada *Radix-2* faktor *bit-growth* sebesar $1 + \sqrt{2} = 2,414$, atau sebesar 2 bit. Pada perhitungan aritmatika *full-precision unscaled*, lebar jalur data akan bertambah untuk mengakomodasi pertumbuhan bit, pertumbuhan bit pecahan (*fractional*) hasil dari proses perkalian akan di bulatkan. Pada hasil akhir, pertumbuhan bit pada output sebesar (*input width* + $\log_2(n \text{ transform})$), sehingga jika pada input ADC 12-bit dengan jumlah sampel 4096, maka pertambahan bit sebesar (12 + 12 = 24 bit). Implementasi Scaler menggunakan *bit shift* sepanjang *n*, atau bilangan pembagi agar pertumbuhan bit terakomodasi pada blok Korelator (Gambar 3.18). Pada Gambar 3.19 adalah contoh keluaran hasil dari IFFT blok korelator yang mengalami overflow, akibat dari input IFFT mengalami pertumbuhan bit

3.6.3 Desain Korelator

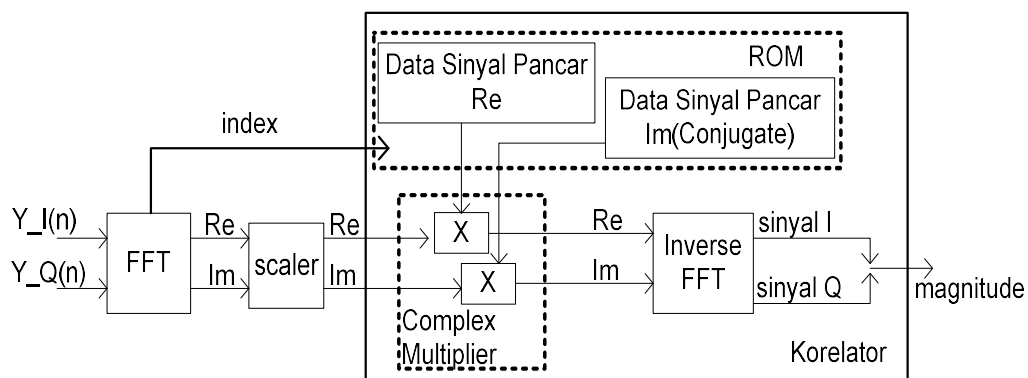
Pada blok korelator terdiri dari 3 buah bagian, yaitu sepasang ROM berisi data FFT sinyal pancar riil dan imajiner, dengan bilangan imajinernya berupa *conjugate* dari sinyal asli nya (sinyal pancar), bagian *Complex Multiplier* yang akan melakukan proses perkalian bilangan kompleks antara data dari ROM dengan hasil FFT sinyal pantul, dan bagian *inverse FFT* yang akan mentransformasi sinyal korelasi ke dalam magnitudonya.



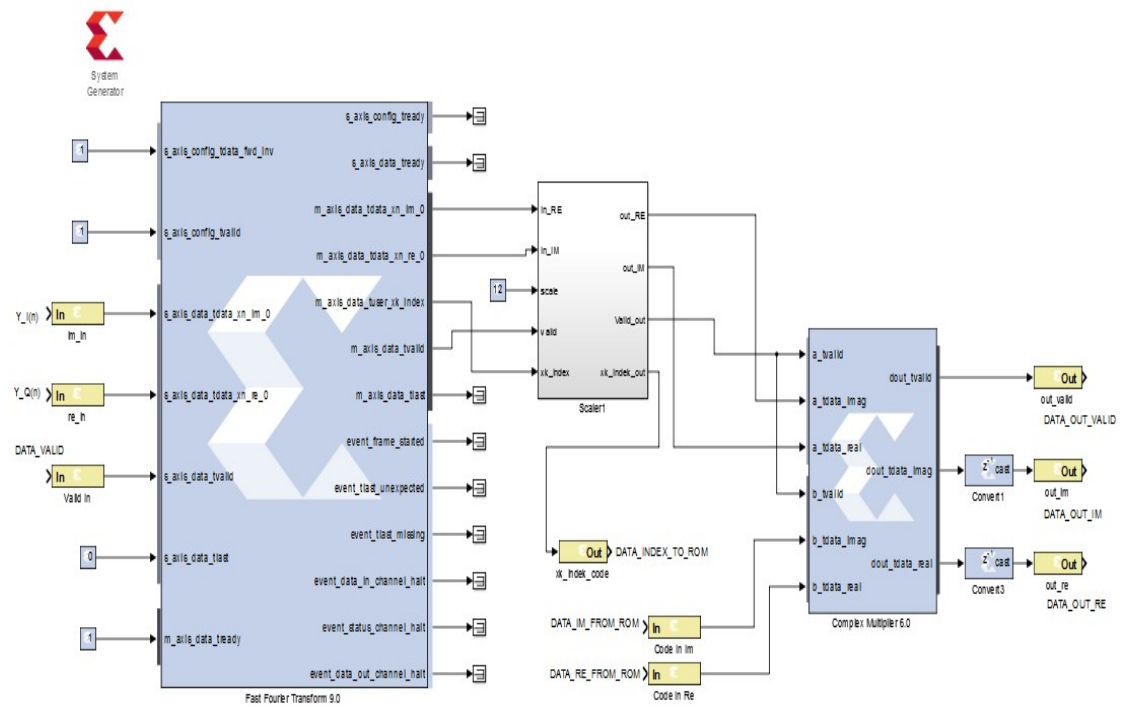
Gambar 3.18 Implementasi FFT Scaler



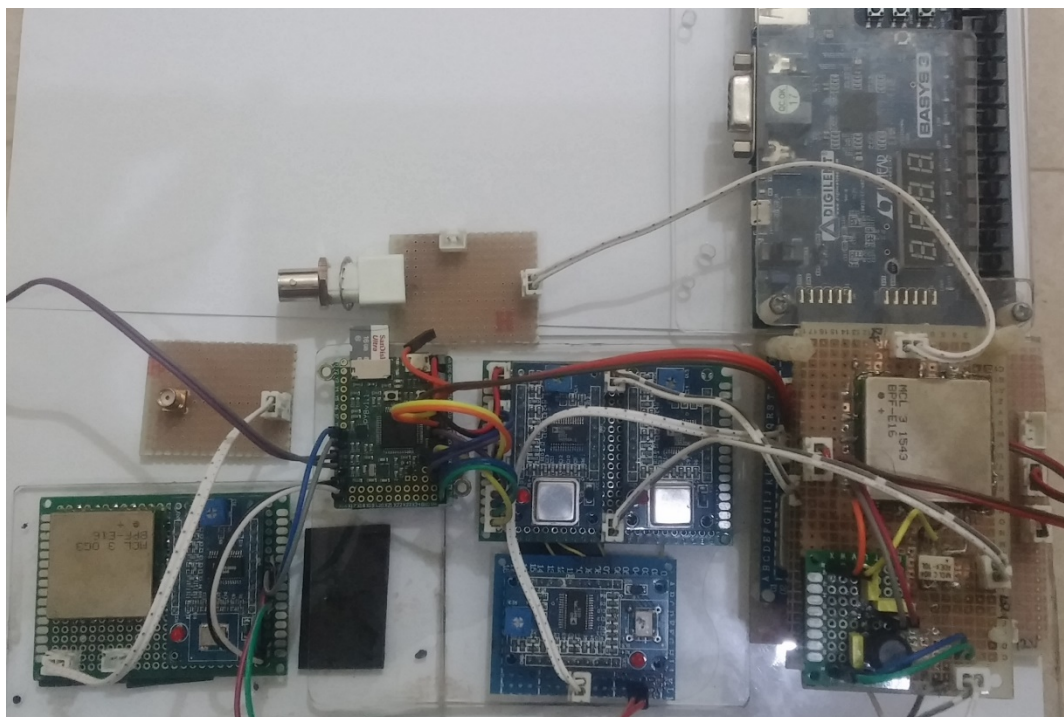
Gambar 3.19 Overflow pada proses IFFT



Gambar 3.20 Diagram Blok Desain Korelator



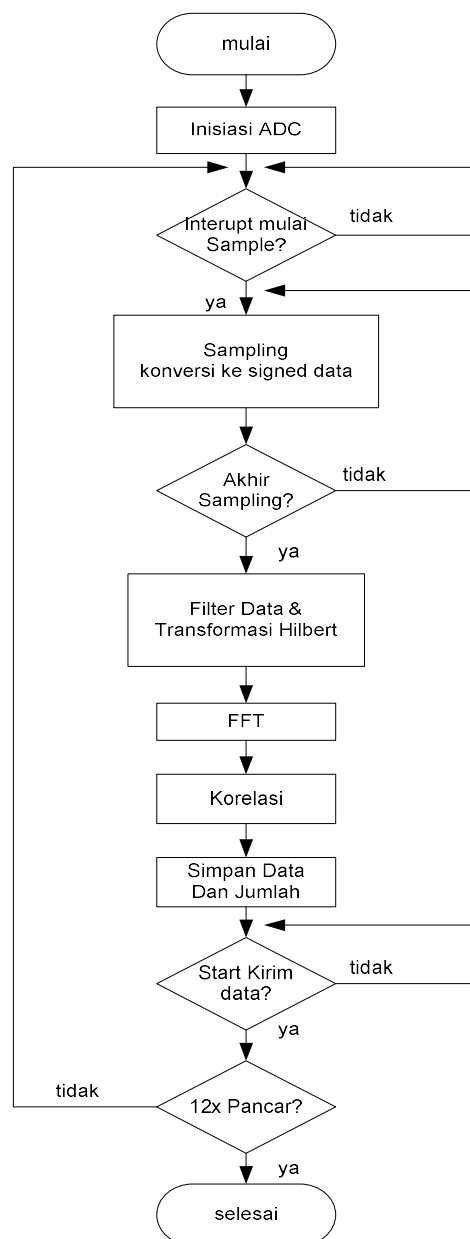
Gambar 3.21 Implementasi Korelator Pada FPGA



Gambar 3.22 Hasil Perancangan Radar Berbasis FPGA

3.6.4 Alur Program FPGA

Pada FPGA terdiri dari modul modul yang bekerja secara independen namun saling terkoneksi karena melibatkan data yang saling terkait. Pada implementasinya, komunikasi antar modul menggunakan token sebagai penanda bahwa data input atau data output dari sebuah modul valid atau tersedia untuk dapat dikirim atau sebaliknya untuk dapat diterima untuk diproses lebih lanjut.



Gambar 3.23 Diagram Alur FPGA

3.7 Sistem Antena, Penguat Sinyal serta Komponen Pendukung Radar HF

Dalam penelitian ini untuk mendukung kerja dan pengujian sistem dari desain Radar yang dirancang, terdapat beberapa komponen pendukung yang telah tersedia di lokasi uji untuk digunakan dan diintegrasikan. Yaitu sistem Antena Pemancar dan Penerima, Modul Penguat Sinyal (Power Amplifier) dan Modul Pre-Amplifier.

1. Sistem Antena Pemancar

Pada antena pemancar, digunakan konfigurasi delta loop multi frekuensi dengan rentang frekuensi kerja 2 MHz sampai 30 MHz dan maksimum daya input sebesar 1 kilo Watt. Dengan spesifikasi kabel transmisi yaitu RG-8U.

2. Sistem Antena Penerima

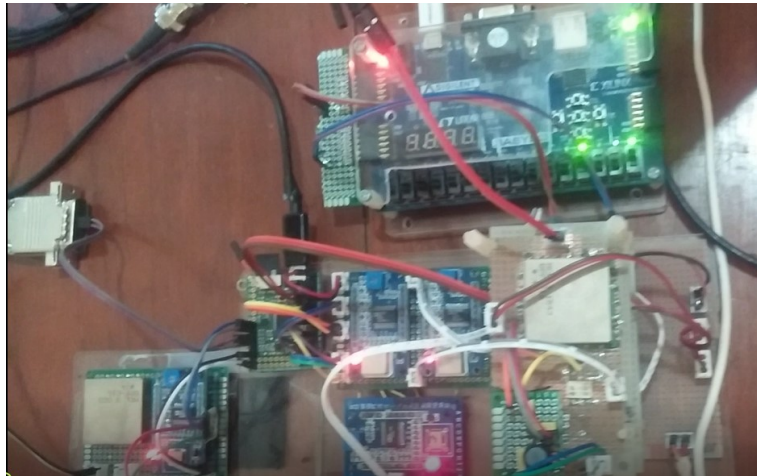
Pada antena penerima, digunakan konfigurasi horisontal dipole dengan bentangan kawat AWG 5 mm, yang beroperasi dalam rentang 1 MHz sampai 32 MHz, dengan spesifikasi kabel yaitu RG-58

3. Modul Penguat Sinyal (Power Amplifier)

Untuk dapat memancarkan sinyal, Radar HF menggunakan modul Pulse Power Amplifier pabrikan dari CADI Kanada, dengan maksimum output daya sebesar 700 Watt dan minimum daya input sebesar 100 mili Watt. Input dari modul ini berasal dari sistem osilator pemancar Radar yang didesain.

4. Modul Pre-Amplifier

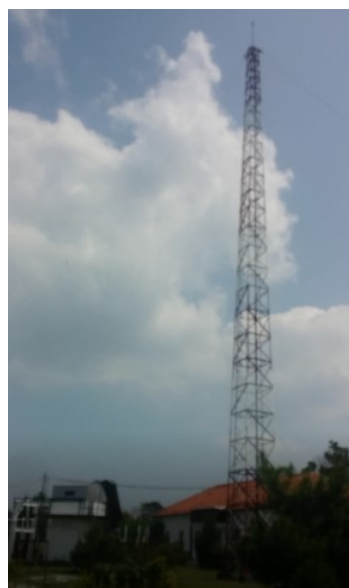
Modul ini digunakan sebagai penguat pertama sinyal pantul dari ionosfer yang diterima oleh antena. Modul ini pabrikan dari CADI Kanada, dengan spesifikasi penguatan berdasar lembar data sebesar 12 dB. Keluaran dari modul pre-amplifier ini sebagai masukan dari sistem penerima heterodine yang dirancang.



Gambar 3.24 Radar Berbasis FPGA Operasional



Gambar 3.25 Rangkaian Penerima Heterodyne 3 Tingkat



Gambar 3.26 Antena Pemancar Delta



Gambar 3.27 Antena Penerima Dipole



Gambar 3.28 Modul Pre-Amplifier



Gambar 3.29 Modul Power Amplifier

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

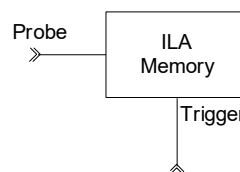
4.1 Pengujian Hasil Perancangan

Modul-modul yang dirancang diuji dan outputnya diamati dengan instrumentasi osiloskop maupun instrumen ILA (*Integrated Logic Analyzer*) yaitu *tool* yang ada pada aplikasi pemrograman FPGA. *Tool* ILA ini merupakan implementasi FPGA khusus untuk monitoring aliran data yang mempunyai input sinyal (*probe*) dan input sinyal pencatu (*trigger*) yang mengatur kapan data pada *probe* direkam pada memory ILA. Besar memory dapat diset baik lebar bit (*bit-width*) maupun panjang datanya (*data-depth*). Isi memory pada ILA dapat dilihat pada aplikasi pemrograman FPGA untuk diplot dan dilihat grafiknya.

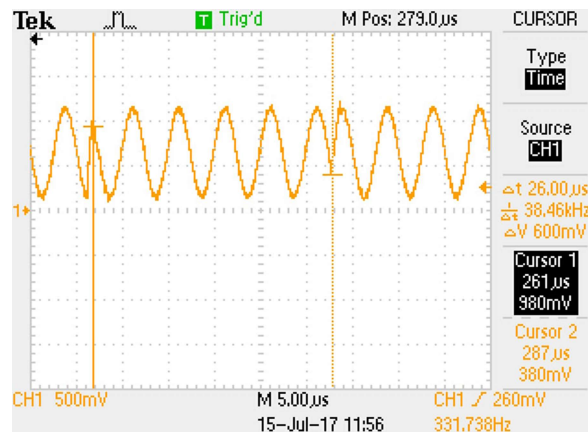
Probe dapat ditempatkan pada *port* keluaran modul yang didesain dalam FPGA untuk merekam aliran data tersebut dan mulai merekamnya dalam memory saat adanya sinyal *trigger*. Aliran data dapat berupa data 1 sampai 1024 bit, dengan maksimal penyimpanan sebesar 400 kilobyte.

4.1.1 Uji Sinyal Pancar

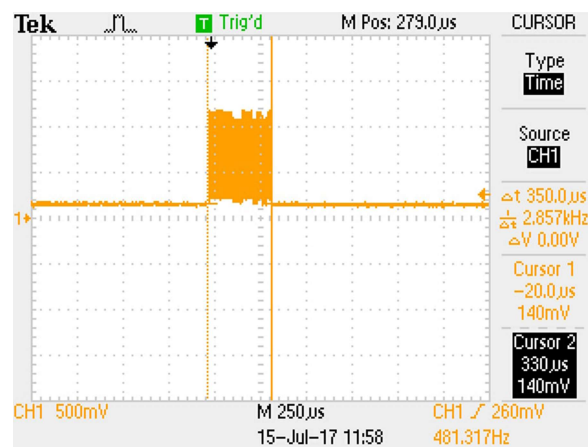
Pengujian sinyal pancar dilakukan untuk memastikan bentuk sinyal yang dipancarkan sesuai dengan perhitungan untuk deteksi objek/target radar dengan minimum ketinggian yang dapat dideteksi sejauh 50 km dan maksimum deteksi sejauh 660 km. Pengujian ini menggunakan osiloskop untuk mengamati sinyal pancar yang dihasilkan oleh osilator 4, output dari DDS AD9850 yang dikontrol oleh modul kontroler. Sinyal pancar berupa pulsa kode Barker, dengan tegangan keluaran 1,10 Vpp (*Volt Peak to Peak*). Seperti terlihat pada gambar 4.2, 4.3 dan 4.4 yang dilihat dengan osiloskop.



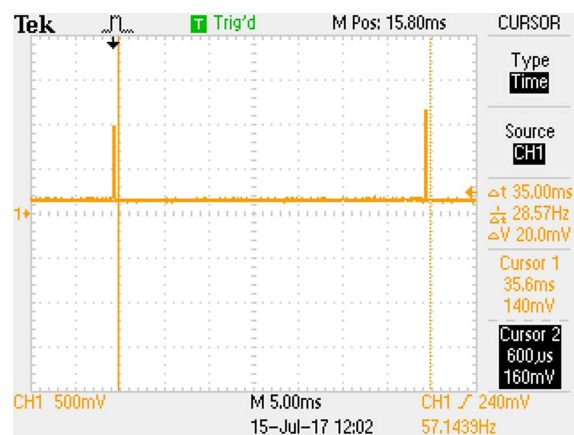
Gambar 4.1 Struktur ILA Pada FPGA



Gambar 4.2 Lebar Sub-Pulsa Transmit



Gambar 4.3 Lebar Pulsa Transmit



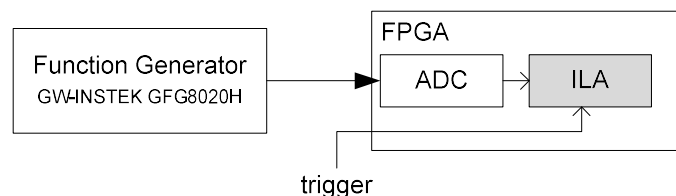
Gambar 4.4 Repetisi Pulsa Pancar

Dari keluaran yang dilihat pada osiloskop, lebar sub-pulsa transmisi sebesar 26μ detik, lebar pulsa sebesar 348μ detik, dan repetisi pulsa sebesar 35 mili detik. Disimpulkan spesifikasi pulsa pancar yang dihasilkan sesuai dengan desain dan hasil perhitungan pada tabel 3.2.

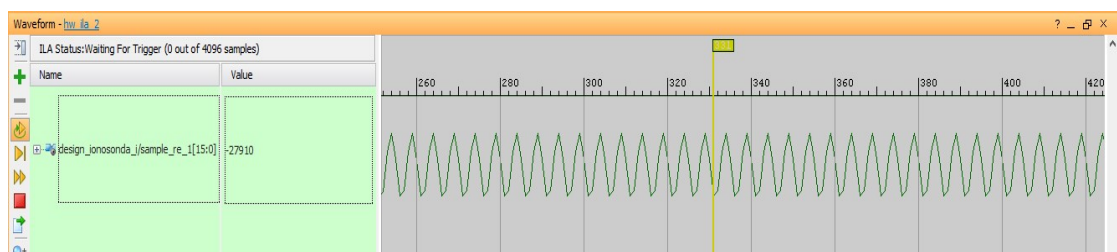
4.1.2 Uji ADC Pada FPGA

Pada pengujian ini bertujuan untuk menguji spesifikasi ADC pada FPGA apakah sinyal yang di sampel sesuai dengan sinyal masukan ADC. Pengujain ini juga akan melihat apakah bentuk sinyal yang terkodekan Barker tersampel sesuai dengan perancangan. Pengujian ADC menggunakan input dari keluaran instrumen *Function Generator GW-INSTEK* dengan seting frekuensi 200 kHz dan tegangan 1 Vpp (Gambar 4.5). Pada modul FPGA terdapat komponen ADC yang mempunyai spesifikasi sampling maksimum sebesar 1 Msps (*Mega Samples per Second*) dengan maksimum tegangan input sebesar 2 Vpp (*Volt Peak to Peak*).

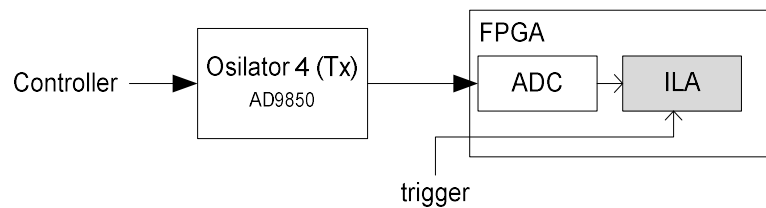
Pengujian ADC (Gambar 4.6) keluaran sesuai dengan output dari instrumen *Function Generator*. Pengujian juga dilakukan dengan konfigurasi input dari keluaran osilator 4 berupa sinyal pulsa kode Barker (Gambar 4.8).



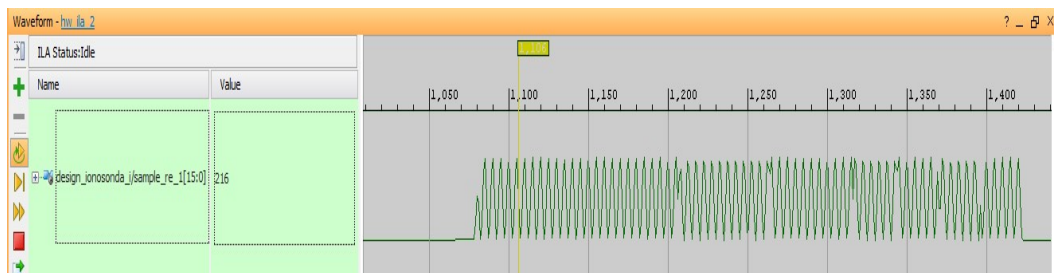
Gambar 4.5 Skema Uji ADC FPGA dengan Input *Function Generator*



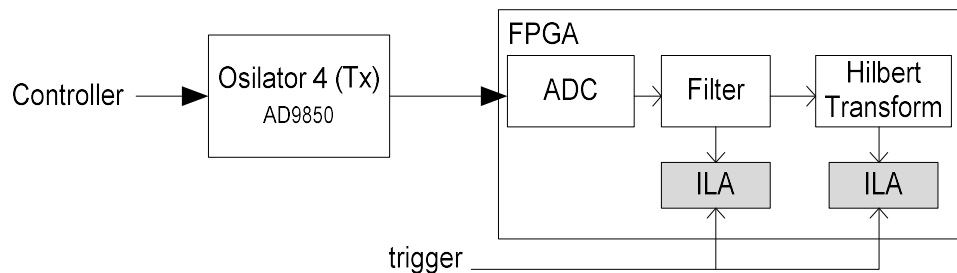
Gambar 4.6 Keluaran ILA dari ADC FPGA



Gambar 4.7 Skema Uji ADC FPGA dengan Input Osilator 4 (Transmitter)



Gambar 4.8 Keluaran ILA dari ADC dengan Input Osilator 4



Gambar 4.9 Skema Uji Filter dan Hilbert Transform

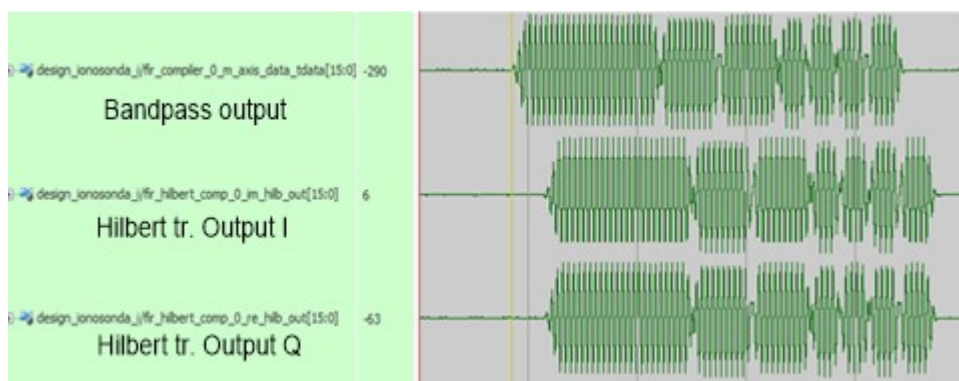
Dari pengujian komponen ADC pada modul FPGA (Gambar 4.8) dan dibandingkan dengan pengujian dengan osiloskop (Gambar 4.2) disimpulkan bahwa kerja ADC telah sesuai dengan desain.

4.1.3 Uji Bandpass Filter dan Hilbert Transform

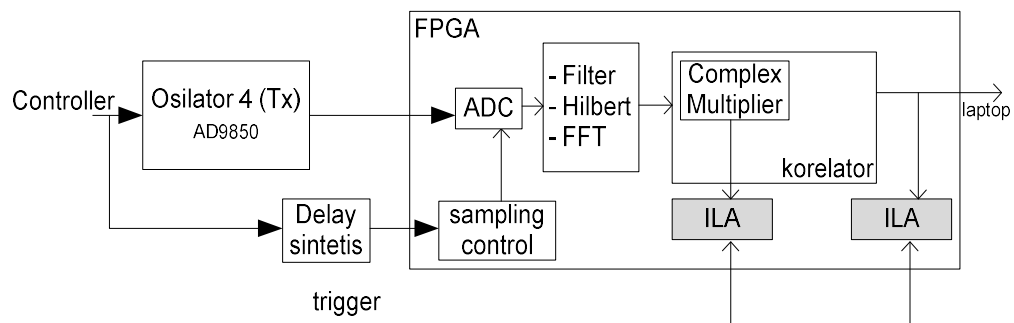
Pada pengujian Filter ini, bertujuan untuk memastikan bahwa modul Filter akan meloloskan frekuensi yang diinginkan yaitu frekuensi sebesar 200 kHz sebagai input dari modul Hilbert Transform dan akan menahan frekuensi di luar dari rentang 170 kHz sampai 230 kHz. Kemudian dari Modul Hilbert Transform akan menghasilkan komponen frekuensi *Inphase* dan *Quadrature*. Pengujian ini

menggunakan instrumen Function Generator dan osilator 4 sebagai sumber sinyal. Pengujian modul Bandpass Filter pada $f_{pL} = 170$ kHz dan $f_{pH} = 230$ kHz dengan frekuensi yang diinginkan untuk dapat diproses adalah frekuensi IF keluaran dari modul penerima sebesar 200 kHz. Skema pengujian seperti terlihat pada Gambar 4.9, input sinyal berasal dari keluaran osilator 4 berupa pulsa transmisi kode Barker yang frekuensinya diset pada 200 kHz.

Hasil desain Bandpass dan Hilbert Transform dapat dilihat pada Gambar 4.10. Filter dapat mengeluarkan sinyal input dari osilator pada frekuensi 200kHz, dan modul *Hilbert Transform* mengeluarkan sinyal *Inphase* dan juga sinyal *Quadrature* dimana sinyal *Quadrature* yang dihasilkan identik dengan sinyal *Inphase* yang mengalami perlambatan sebesar seperempat gelombang, sehingga disimpulkan sesuai dengan perancangan.



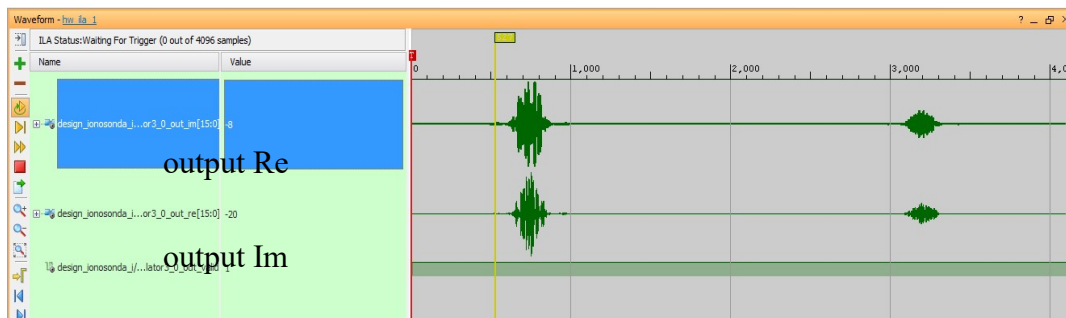
Gambar 4.10 Keluaran ILA Untuk Modul Bandpass dan Hilbert Transform



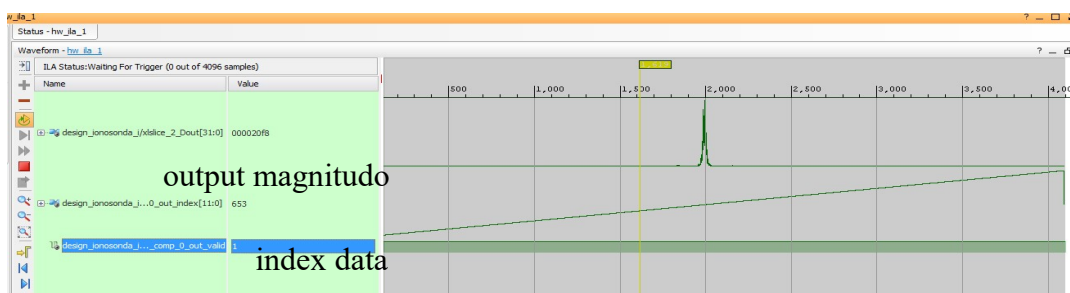
Gambar 4.11 Skema Pengujian *Complex Multiplier* dan Korelator

4.1.4 Uji Korelator Sinyal

Pengujian ini akan melihat apakah modul korelator sinyal akan menghasilkan impuls sinyal bila terdapat korelasi antara sinyal masukan dan sinyal referensi. Magnitudo dari impuls sinyal akan semakin besar jika korelasi antara sinyal masukan dan sinyal referensi kuat. Gambar 4.11 mendeskripsikan skema pengujian blok *Complex Multiplier* dan Korelator. Sinyal input dari pengujian ini adalah keluaran Osilator 4 dimana sinyalnya dikontrol sehingga identik dengan keluaran dari blok penerima *heterodyne* dengan frekuensi IF sebesar 200 kHz, sinyal uji sintetis ini dimodelkan identik dengan sinyal pantul. Sinyal pantul dimodelkan dengan blok delay yang mengontrol sampling ADC pada FPGA. Dengan delay ini, mensimulasikan adanya obyek pantul pada jarak tertentu sesuai dengan lamanya delay. Nominal delay diatur pada blok kontroler dengan maksimum delay sebesar 4 mili detik, dengan asumsi maksimum ketinggian obyek pantul radar berada di ketinggian 620 kilometer. Dengan pengujian blok ini, maka pada dasarnya menguji keseluruhan sistem pada modul board FPGA.



Gambar 4.12 Output hasil *Complex Multiplier*



Gambar 4.13 Output hasil Korelator

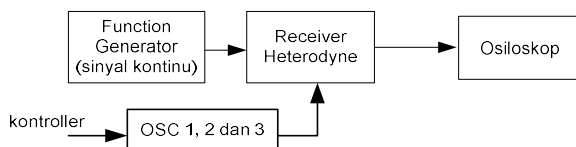
Hasil uji dari modul perkalian bilangan kompleks dapat dilihat pada Gambar 4.12, pada pengujian ini masukan adalah sinyal pulsa dengan kode Barker 13 bit yang identik dengan sinyal pantul (dengan delay) dan sinyal acuan yang tersimpan dalam ROM dengan frekuensi *carrier* sebesar 200 kHz.

Dari Gambar 4.13 dapat terlihat hasil keluaran modul korelator dimana magnitudo korelasi cukup jelas berada pada nilai sampel ke 1000, yaitu pada nominal delay 1 mili detik (1000 sampel x 1 μ detik) sehingga konsisten dengan nilai delay sintetis yang diujikan (diinputkan) pada nominal 1 mili detik.

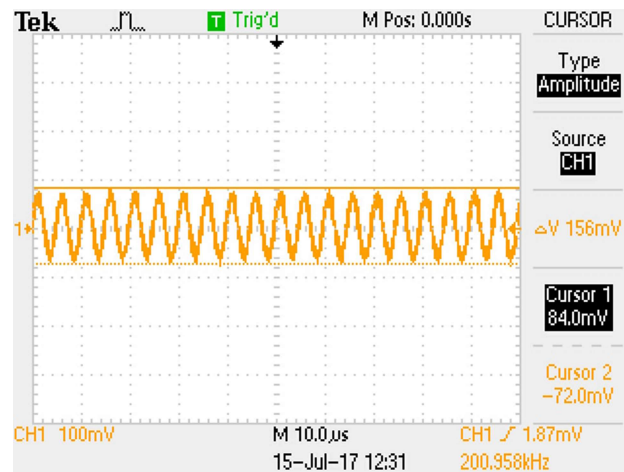
4.1.5 Uji Penerima Heterodyne 3 Tingkat

Pengujian penerima heterodyne ini bertujuan untuk memastikan bahwa modul dapat mentranslasi frekuensi yang diterima dari sinyal pantulan lapisan ionosfer dalam rentang 2 MHz sampai 22 MHz ke frekuensi IF nya sebesar 200 kHz. Pengujian ini menggunakan instrumen Function Generator sebagai sumber sinyal dan Osiloskop untuk mengetahui keluaran dari modul (deskripsi pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.17). Hasil uji kerja penerima dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.18, terlihat bahwa penerima dapat menghasilkan sinyal keluaran frekuensi IF di 200 kHz (Gambar 4.15 dan Gambar 4.16) dengan input sinyal kontinyu dari sumber sinyal Function Generator. Dari Gambar 4.16 terlihat bahwa keluaran penerima terdapat frekuensi harmonis di frekuensi 400 kHz dan 800 kHz. Untuk itu diterapkan Bandpass Filter digital yang diimplementasi pada FPGA.

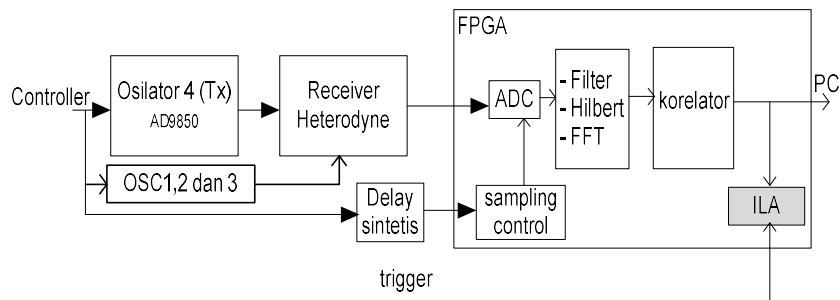
Pada uji dengan skema pada Gambar 4.17, hasilnya dapat terlihat di Gambar 4.18 bahwa deteksi pantulan berupa puncak amplitudo dengan fungsi korelasi kode Barker sesuai dengan perancangan. Pada Uji ini, input dari penerima adalah Osilator 4 dengan kode Barker yang identik dengan delay sintetis di set sebesar 1 mili detik oleh kontroler.



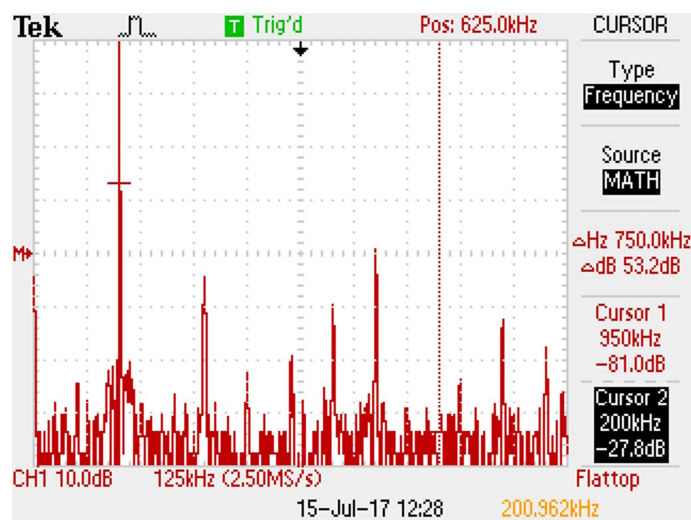
Gambar 4.14 Skema Uji Penerima *Heterodyne* Dengan Function Generator



Gambar 4.15 Hasil Uji Penerima *Heterodyne* Dengan Function Generator



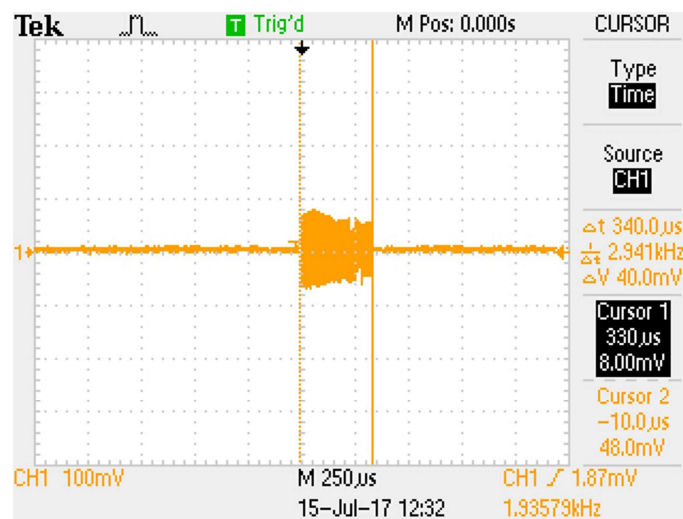
Gambar 4.16 Skema Uji Penerima *Heterodyne* Dengan Sistem FPGA



Gambar 4.17 Komponen sinyal Pada Penerima *Heterodyne*



Gambar 4.18 Hasil Uji *Receiver Heterodyne* Dilihat Pada Output Magnitude



Gambar 4.19 Hasil Uji *Receiver* Dengan Skema Gambar 4.17 di Osiloskop

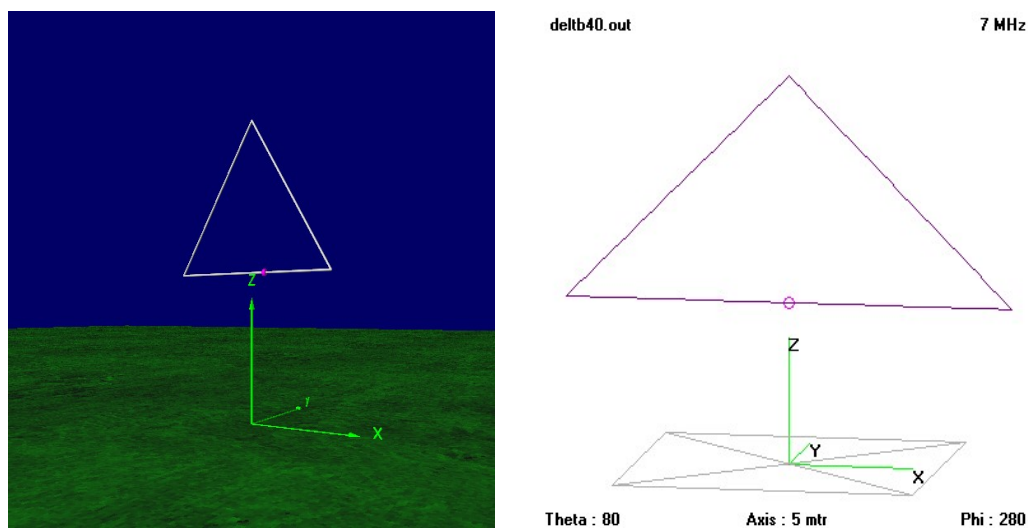
Bila dibandingkan Gambar 4.15 hasil uji penerima dengan Gambar 4.13 keluaran blok korelator, maka bentuk impuls magnitudo hasil keluaran dengan penerima *heterodyne* tidak sempurna, dan juga terdapat *ripple* (riak) pada sampel antara 3600 sampai 3800, hal ini akibat efek pencampuran dan filter yang tidak sempurna mem-blok frekuensi yang dihindari. Namun secara fungsional, hasil uji sesuai dengan perancangan.

4.1.6 Simulasi Kinerja Antena Radar

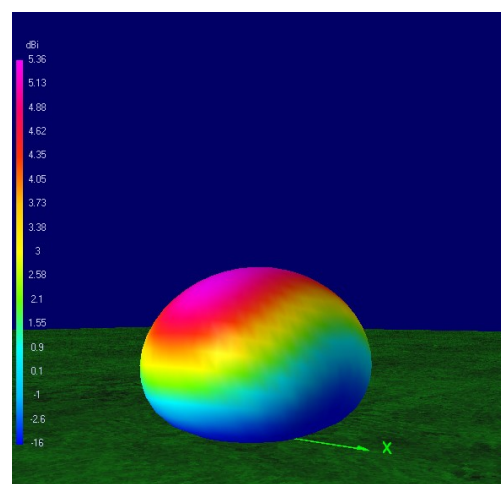
Radar HF diuji dengan menggunakan antenna pemancar dengan konfigurasi Delta loop multi frekuensi dengan frekuensi kerja pada frekuensi – frekuensi pancar dari 3 MHz sampai 12 MHz. Antena merupakan bentangan kawat AWG 5 mm pabrikan.

Untuk itu diperlukan simulasi untuk mengetahui dan memprediksi kinerja antenna yang digunakan. Konfigurasi Antena Multiband Delta dengan panjang sisi – sisi nya sebesar 22,56 meter (minimum frekuensi = 3 MHz) dengan *feed line* di tengah-tengah pada sisi mendatar.

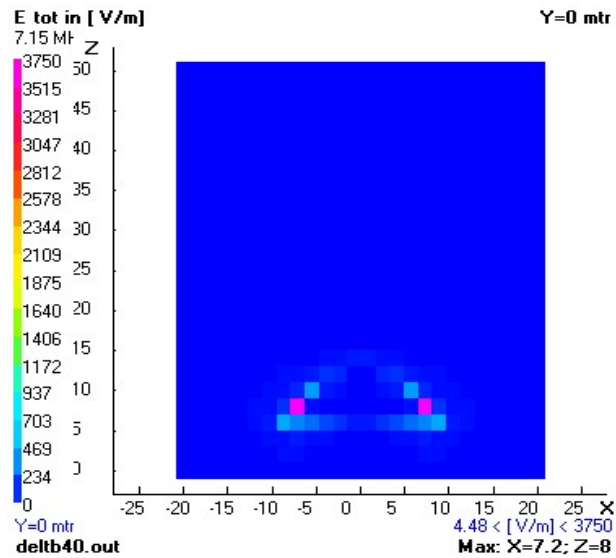
Pada Gambar 4.21 hasil simulasi pola radiasi antenna dengan maksimum Gain 5,36 dBi pada frekuensi 7 MHz, dan plot kontur medan elektromagnetik *near-field* dengan maksimum besar medan berada di sudut kaki antenna.



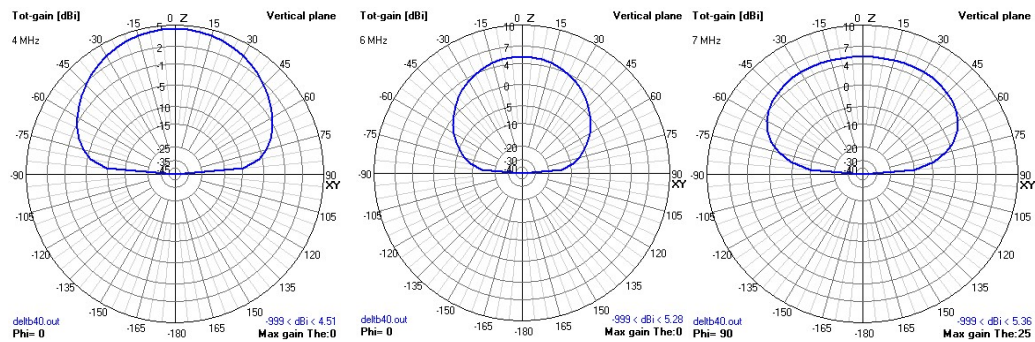
Gambar 4.20 Konfigurasi Antena Delta Pada Pemancar



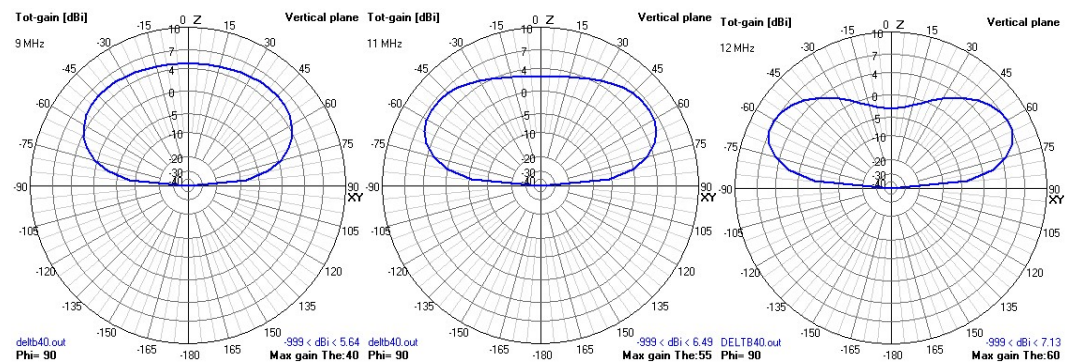
Gambar 4.21 Pola radiasi *far-field* antenna frekuensi 7 MHz



Gambar 4.22 Kontur Medan Elektromagnetik *near-field* frekuensi 7 MHz



Gambar 4.23 Plot Gain Antena untuk frekuensi 4, 6 dan 7 MHz



Gambar 4.24 Plot Gain Antena untuk frekuensi 9, 11 dan 12 MHz

Dari Gambar 4.23 dan 4.24 terlihat bahwa pola radiasi antena pada frekuensi tinggi berubah menjadi radiasi horizontal, dengan nilai maksimum gain berada di sisi horisontalnya.

Dari simulasi kinerja antenna ini, didapatkan kesimpulan bahwa daya sinyal pantul yang diterima pada frekuensi 11 dan 12 MHz akan lebih kecil karena kinerja antenna pada frekuensi tersebut menurun, terlihat dari bentuk sudut pancar yang dihasilkan.

4.2 Pengujian Radar dan Validasi Data

4.2.1 Fasilitas Pengujian Radar

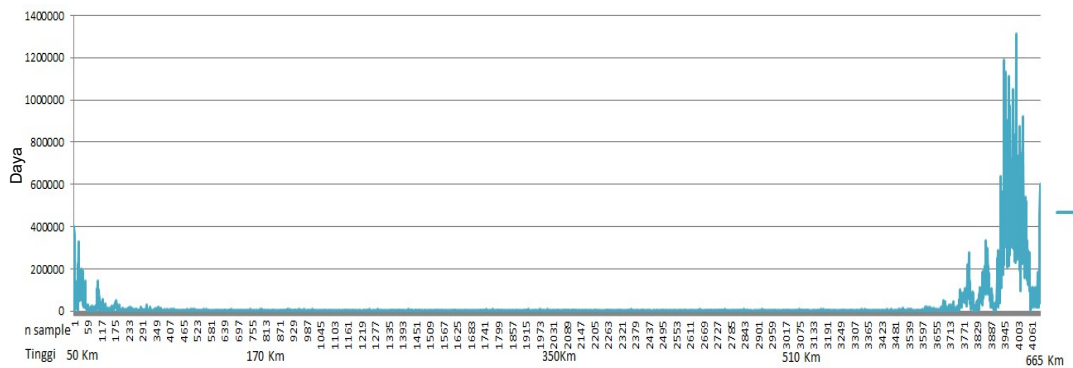
Sistim yang dirancang diuji pada Balai Pengamatan Atmosfer dan Antariksa LAPAN Tanjungsari Sumedang Jawa Barat. Pada pengujian meminjam beberapa fasilitas yang tersedia di Balai, seperti:

1. Antena Pemancar dengan maksimum daya pancar sebesar 2 kiloWatt dengan konfigurasi Delta. Rentang frekuensi yang dapat digunakan berada pada 1 Mhz sampai 40 Mhz, dengan pengukuran SWR Meter di angka 1,2 sampai 2,9, menggunakan auto tuner sehingga diharapkan nilai SWR rata-rata menjadi 1 – 1,5.
2. Antena Penerima dengan konfigurasi dipole, merupakan antenna penerima dari Ionosonde CADI. Untuk kali ini digunakan untuk ujicoba dengan informasi dari lembar data, gain yang dihasilkan sebesar 13 dB (unit antenna dan outdoor pre amplifier)
3. Modul transmitter utama, yaitu *Pulsed Transmitter* buatan CADI dimana mempunyai daya maksimum pancar sebesar 700 Watt. Modul berupa rangkaian penguat solid state dengan daya keluaran dikontrol oleh sepasang *Gate flip flop*.
4. Data hasil percobaan akan divalidasi dengan perangkat Ionosonda CADI yang berada di Pontianak. Dimana, nilai pendekatan berdasar pada peta prediksi area frekuensi LAPAN pada bulan Mei hasil dari pemodelan. Informasi diperoleh dari repositori data LAPAN di halaman <http://rdsa.sains.lapan.go.id/Ionosphere/Ionogram>. Data perbandingan dengan Ionogram Pontianak digunakan sebagai pendekatan untuk mendapatkan karakteristik lapisan, namun akan berbeda untuk merujuk nilai frekuensi minimum dan maksimum yang dipantulkan antara Sumedang dan Pontianak karena jarak antar lokasi lebih dari 500 km.

5. Perangkat instrumen ALE (*Automatic Link Establishment*) juga akan digunakan untuk memverifikasi data. Data kualitas komunikasi ALE antara Bandung – Watukosek (Pasuruan) digunakan sebagai pembanding. Informasi diperoleh dari repositori data LAPAN di halaman <http://rdsa.sains.lapan.go.id/Ionosphere/Ale> dan juga data terbaru di <http://bimasakti.sains.lapan.go.id> dengan akses user.

4.2.2 Percobaan Pancar

Pada percobaan pancar ini, durasi pemancaran dilakukan satu kali dan dilihat data hasil korelasi sinyal pantul. Frekuensi pancar yang digunakan adalah 5 Mhz.

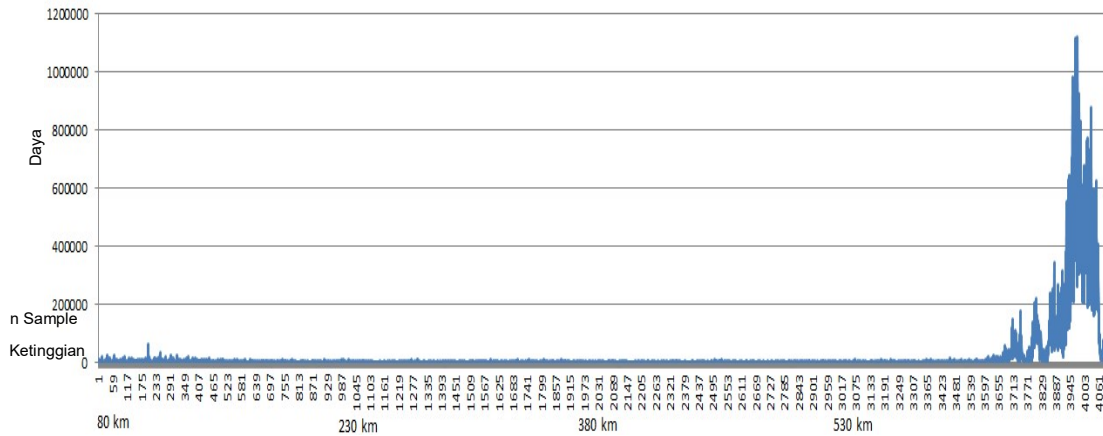


Gambar 4.25 Sinyal Diterima Pada Frekuensi 5 Mhz Pukul 14.00 WIB

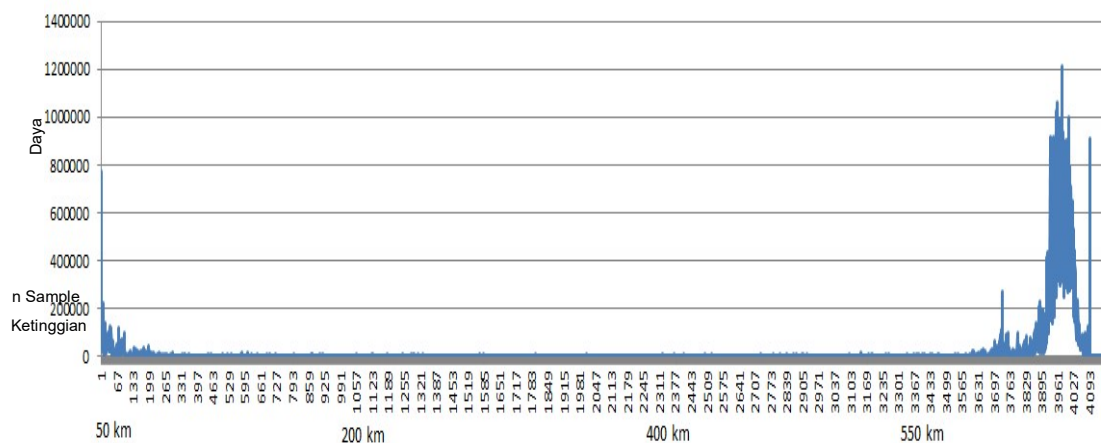
Dari Gambar 4.25 pada penerimaan frekuensi 5 Mhz terdapat *spikes* yang cukup tinggi pada jarak 600 km dan juga di jarak sekitar 50 km sampai 75 km. Pada spike yang pertama, pada jarak 50 sampai 75 km, hipotesa awal disebabkan oleh pantulan dari lingkungan teresterial sekitar lokasi uji coba dimana lokasi dikelilingi perbukitan. Untuk menguji hipotesa maka pada pancaran kedua, waktu dengar akan ditambah delay sehingga objek pada jarak 50 sampai 80 km akan dihiraukan.

Dari gambar 4.26 dengan menghilangkan objek deteksi radar di jarak kurang dari 80 km, maka dapat menghilangkan spike pertama, sehingga hipotesa munculnya spike ini karena efek lingkungan teresterial dan efek pantulan tanah dapat diterima. Namun, spike tersebut juga bisa disebabkan oleh adanya efek ‘*ringing/resonansi*’ karena sesaat setelah transmisi berakhir, ADC langsung aktif

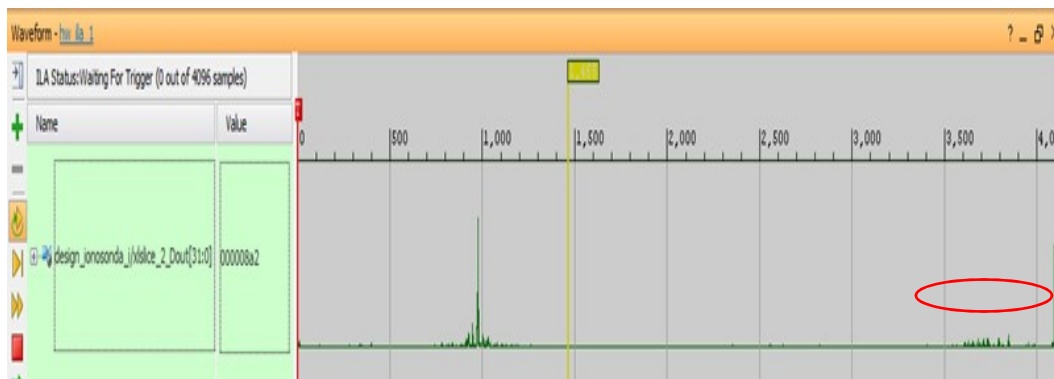
mensample sinyal. Lapisan Ionosfer paling bawah dapat terjadi pada ketinggian 100 km (McNamara dan Davies, 1990), sehingga pada sinyal pantul kurang dari 100 km dapat dihiraukan.



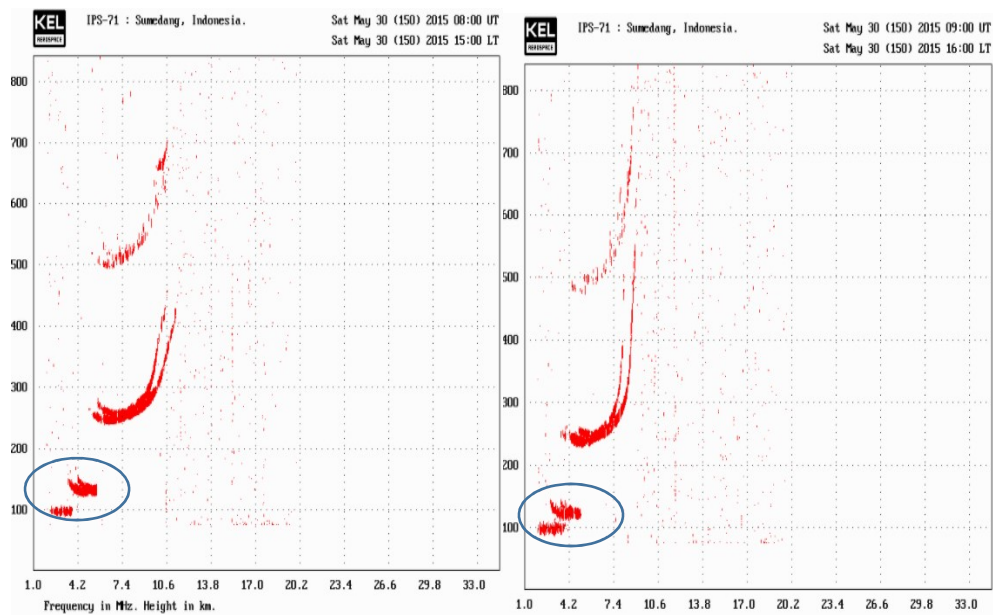
Gambar 4.26 Sinyal Pantulan Diterima Pada Frekuensi 5 MHz Pukul 15.10 WIB



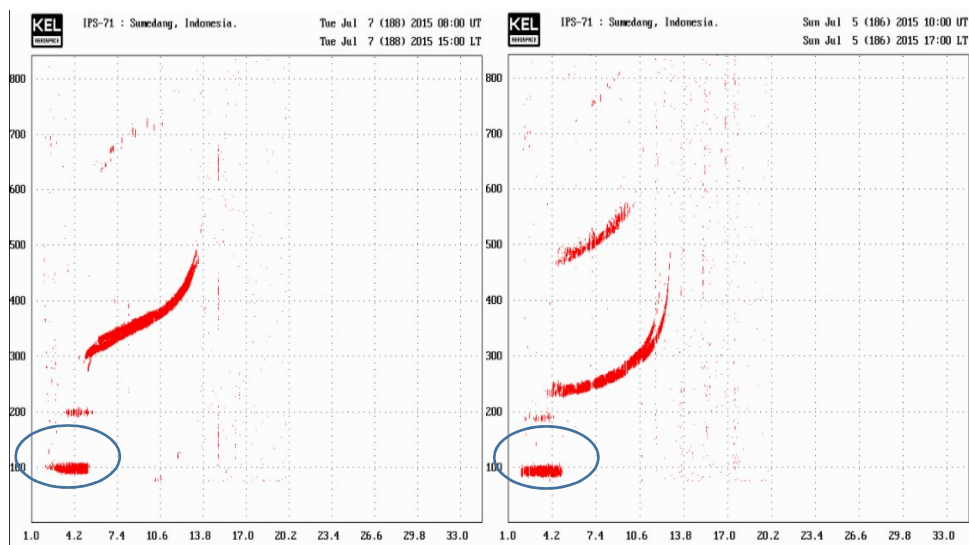
Gambar 4.27 Pantulan Sinyal Diterima Pada Frekuensi 10 MHz Pukul 14.20 WIB



Gambar 4.28 Data Uji Penerima

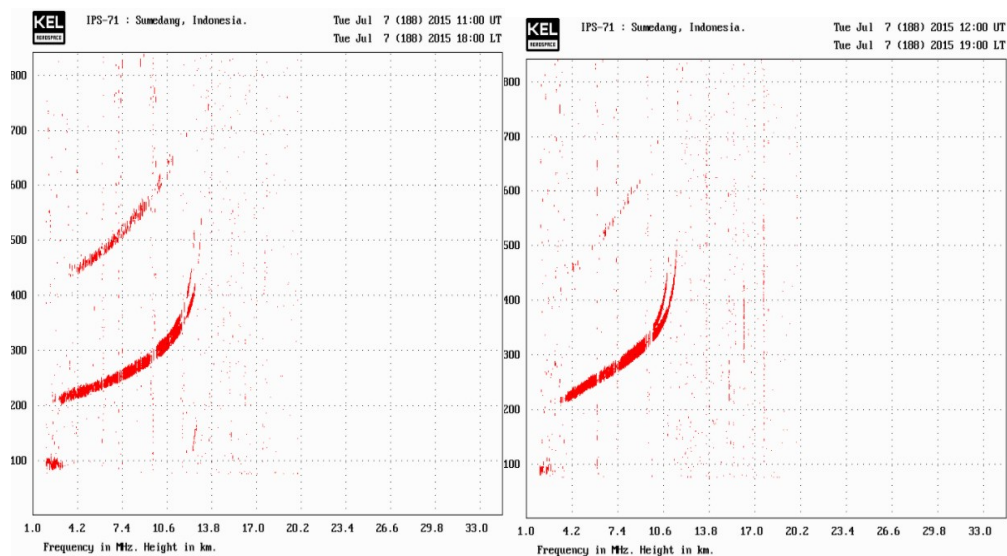


Gambar 4.29 Ionogram Sumedang, Mei 2015 Pukul 15.00 dan 16.00



Gambar 4.30 Ionogram Sumedang Juli 2015 Pukul 15.00 dan 17.00

Pada *sipke* kedua yang cukup besar, terjadi pada setiap pancaran, baik di frekuensi 5 MHz, 3 MHz, dan 10 MHz. Dengan kemunculan *sipke* pada ketinggian 600 km yang cukup besar, hanya mungkin disebabkan oleh rugi-rugi sistem dan ketidaksempurnaan sistem penerima.



Gambar 4.31 Ionogram Sumedang Lapisan E Juli 2015 Pukul 18.00 dan 19.00

Sistem penerima *Heterodyne* yang tidak bekerja yang sesuai diharapkan menjadi hipotesa awal untuk spike yang kedua ini. Jika melihat data pada hasil uji sistem penerima heterodyne, terdapat ripple pada sample ke 3500 ke atas (Gambar 4.28)

4.2.3 Percobaan Pancar Pukul 17.00 WIB

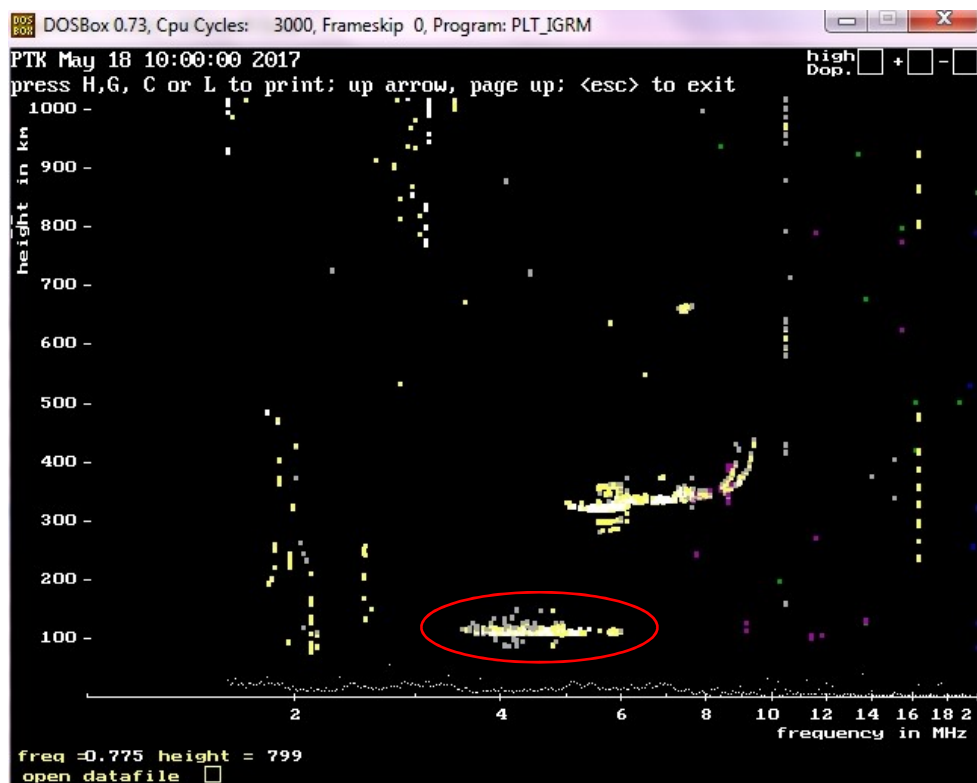
Pada percobaan ini pemancaran dilakukan antara pukul 17.00 sampai 18.00 WIB, tanggal 18 Mei 2017. Pada waktu-waktu ini, berdasarkan pola harian karakteristik Ionosfer lintang rendah, akan terbentuk lapisan E. Pola kemunculan lapisan E pada Ionosfer terjadi dimulai pada siang hari dan puncaknya pada sore hari pada jam 16.00 dan lambat laun memudar sampai menjelang malam pukul 19.00. Pada percobaan ini, pemancaran dilakukan pada pukul 17.00 dengan frekuensi pancar yaitu 3 MHz, 3,5 MHz, 4 MHz, 4,5 MHz, 5 MHz, dan 5,5 MHz. Analisis :

Dari Gambar 4.29, 4.30 dan 4.31, terlihat karakteristik pembentukan lapisan E pada ketinggian sekitar 100 km, dimana terjadi pada pukul 15.00 sampai 17.00 pada frekuensi 2 MHz sampai 5 MHz. Kemudian berangsur-angsur memudar terdeformasi dan hilang mulai pukul 19.00 seperti terlihat pada Gambar 4.31. Begitu pula pola harian atau karakteristik harian dapat terlihat pada Gambar 4.32 dari ionogram di kota Pontianak Kalimantan Barat. Terlihat bahwa lapisan E juga

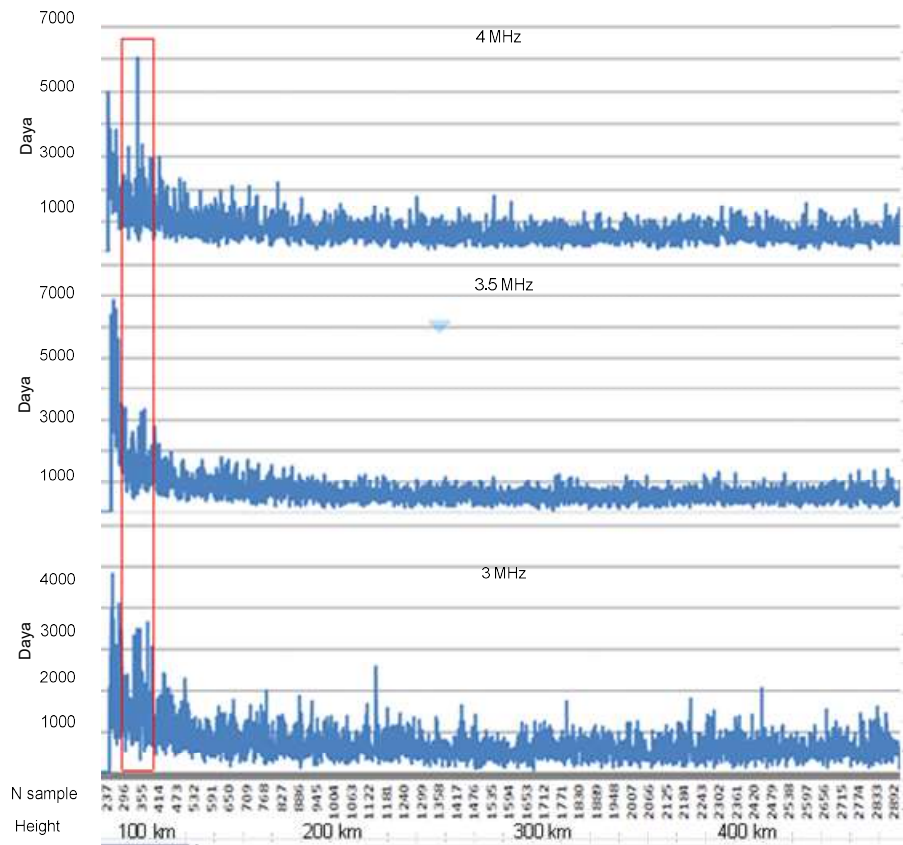
terbentuk pada pengamatan 18 Mei 2017 pukul 10.00 UT (*Universal Time*) atau 17.00 WIB pada rentang frekuensi 3.5 MHz sampai 6 MHz. Waktu pengamatan yang sama pada waktu percobaan pancar.

Kemudian dari data hasil pemancaran dalam Gambar 4.33 dan 4.34, terlihat bahwa karakteristik lapisan E dapat juga terlihat. Data pada frekuensi 3 MHz sampai 5 MHz menunjukkan bahwa frekuensi yang dipancarkan kembali dipantulkan di ketinggian sekitar 100 km, terlihat dari impuls yang tinggi pada sampel ke 345 sampai sampel ke 440. Kemudian data ALE pada Gambar 4.35 terlihat bahwa pada sekira pukul 10.00 UT komunikasi antara Bandung-Watukosek dapat terjadi pada rentang kanal 1 (frekuensi 3596 kHz) dan kanal 2 (7049 kHz).

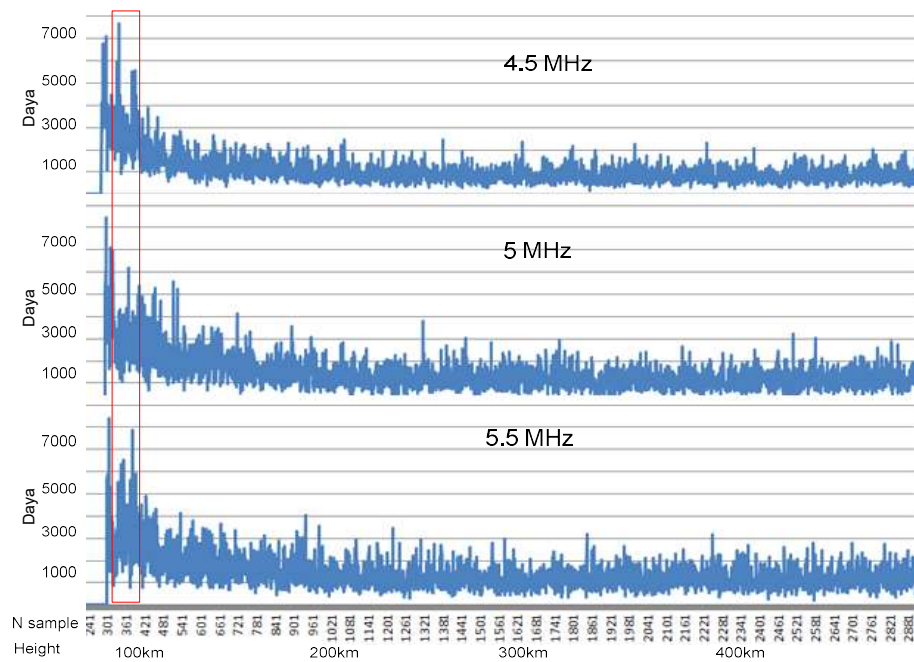
Disimpulkan bahwa hasil keluaran data pada Perangkat Radar yang di desain dapat mendeteksi kemunculan lapisan E di atas Sumedang pada frekuensi 3 MHz sampai 5,5 MHz pada ketinggian 101 km sampai 111 km pada pukul 17.00 WIB.



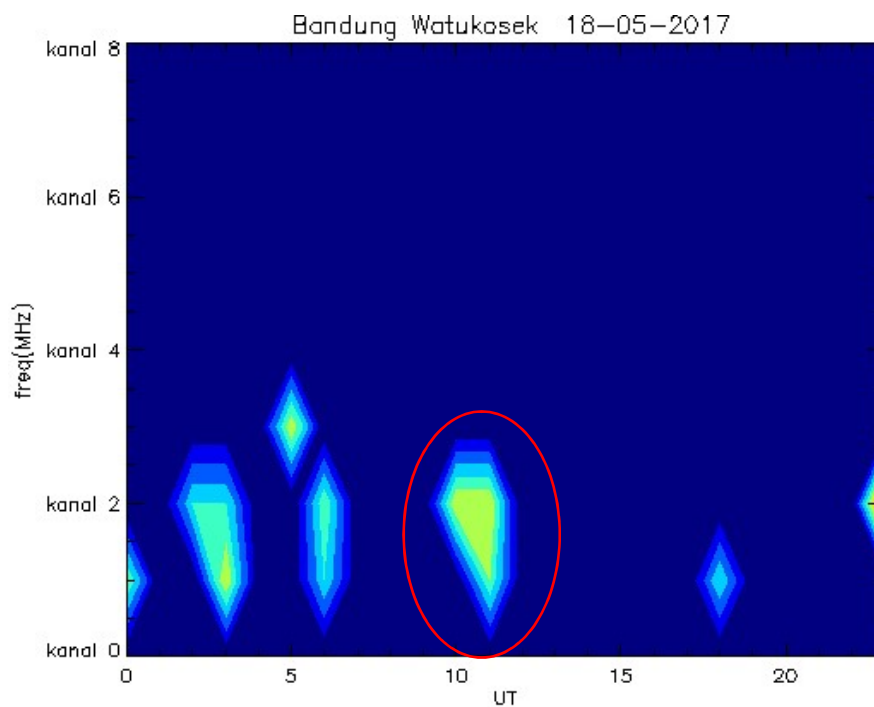
Gambar 4.32 Ionogram Pontianak 18 Mei 2017 Pukul 10 UT/17 WIB



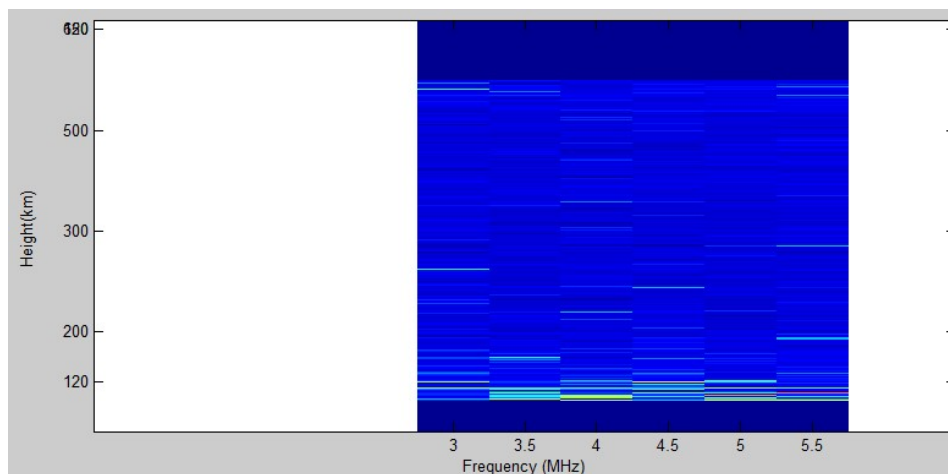
Gambar 4.33 Hasil Pancar 3, 3,5 dan 4 Mhz 18 Mei Pukul 17.00



Gambar 4.34 Hasil Pancar 4,5, 5 dan 5,5 MHz 18 Mei Pukul 17.00



Gambar 4.35 Kualitas *Link* HF Bandung-Watukosek 18 Mei 2017

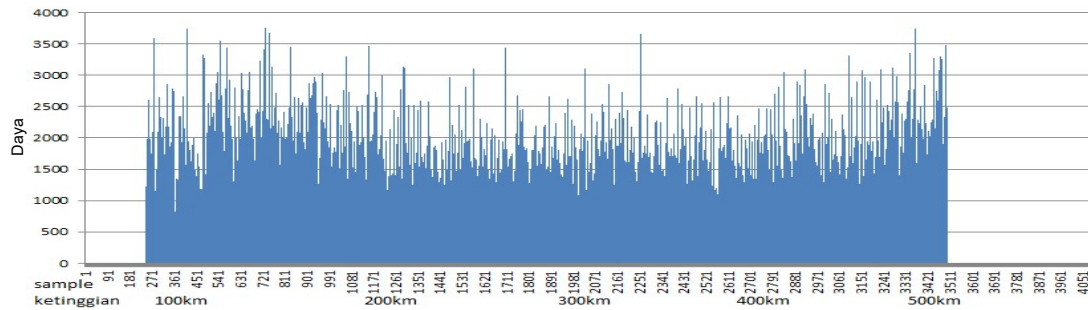


Gambar 4.36 Data Plot Intensitas Pantulan

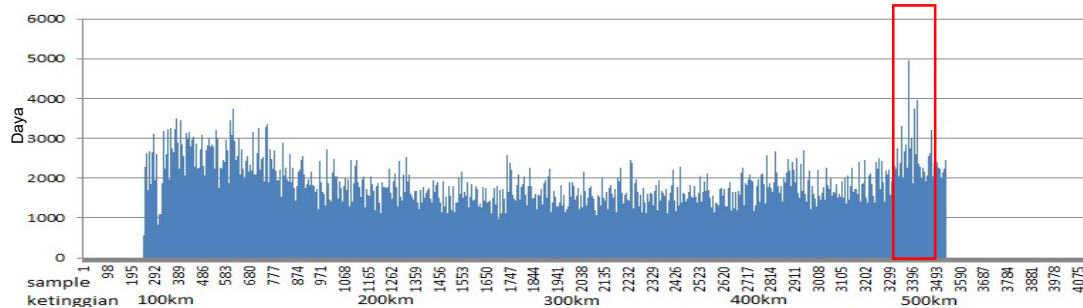
4.2.4 Percobaan Pancar Pukul 19.00 – 20.00 WIB

Pola kemunculan lapisan F pada Ionosfer lebih sering terjadi sepanjang hari, dan pada malam hari akan lebih landai dengan ketinggian bervariasi antara 300 sampai 500 km. Dan pada malam hari terbentuk pada frekuensi rendah antara 7 MHz sampai 14-16 MHz, dan pada siang hari dapat terbentuk dari frekuensi 2 MHz sampai 18 MHz. Pada percobaan ini, pola harian atau karakteristik lapisan F pada malam hari yaitu lapisan akan berada di ketinggian 300 sampai 500 km akan

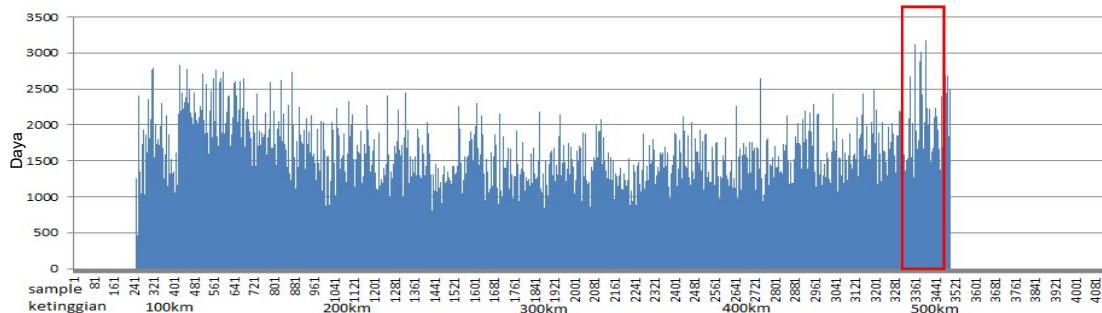
diperoleh. Gambar 4.38 dan 4.39 serta 4.40 memperlihatkan indikasi terdeteksinya lapisan F pada ketinggian sekitar 500 km. Sedangkan Lapisan E pada frekuensi tersebut sudah tidak terdeteksi.



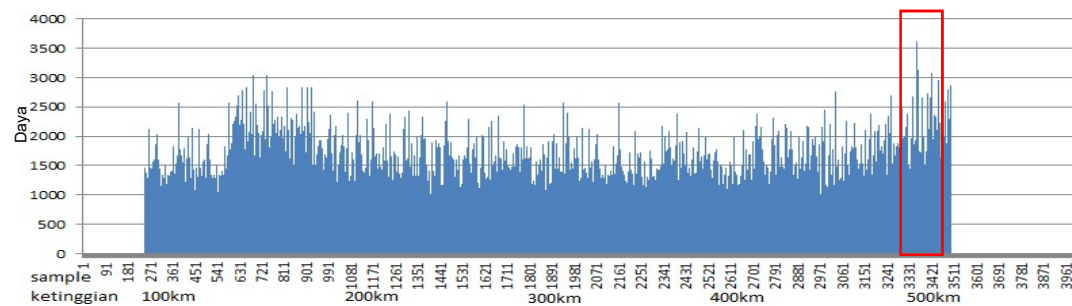
Gambar 4.37 Sinyal Pantulan Pada Frekuensi Pancar 12 Mhz 18 Mei Pukul 19.00



Gambar 4.38 Sinyal Pantulan Pada Frekuensi Pancar 10 Mhz 18 Mei Pukul 19.00



Gambar 4.39 Sinyal Pantulan Pada Frekuensi Pancar 8 Mhz 18 Mei Pukul 19.00

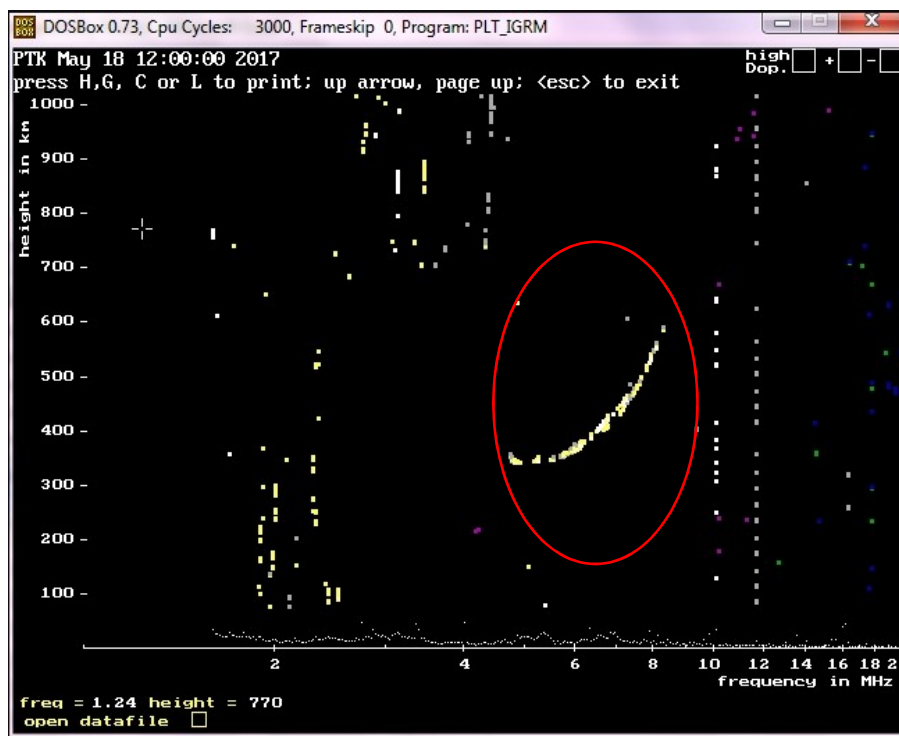


Gambar 4.40 Sinyal Pantulan Pada Frekuensi Pancar 7 Mhz 18 Mei Pukul 19.00

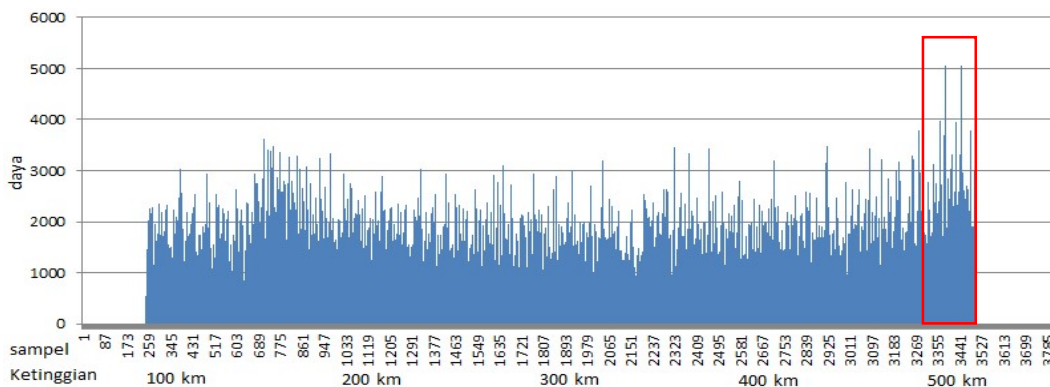
Analisis :

Dari Gambar 4.37 hasil pancar pada frekuensi 12 Mhz, terlihat bahwa sinyal radar yang dipantulkan sangat kecil sekali baik dari lapisan E maupun dari lapisan F, hal ini bersesuaian dengan Gambar 4.41 dimana frekuensi maksimum yang di pantulkan adalah sebesar 9 MHz, namun masih dari gambar 4.41 terlihat bahwa pada frekuensi 7 MHz sinyal dipantulkan pada ketinggian 551 km (sampel 3361), hal ini bersesuaian dengan data pada Gambar 4.40. Begitupula pada hasil pancar pada frekuensi 8 MHz pada Gambar 4.39, terdapat pantulan dari lapisan F di ketinggian sekitar 554 km (sampel ke 3381). Dari data Gambar 4.38, 4.39 dan 4.40 serta 4.37 terlihat bahwa sudah tidak terdapat pantulan sinyal dari lapisan E di ketinggian 100 km, dan hal ini terlihat pada data ionogram Pontianak pukul 12.00 UT (Gambar 4.41) dimana lapisan E sudah terdeformasi dan lapisan F naik sampai di ketinggian 400-600 km.

Pada data ALE komunikasi Bandung-Watukosek dan Bandung-Pontianak tidak dapat terlaksana pada kanal 2 ke atas (Frekuensi 7 MHz ke atas) karena ketinggian lapisan F sebagai pemantul sekitar 500 km yang cukup tinggi sehingga komunikasi ke titik lokasi Watukosek terlewati.



Gambar 4.41 Ionogram Pontianak 18 Mei 2017 pukul 19.00WIB

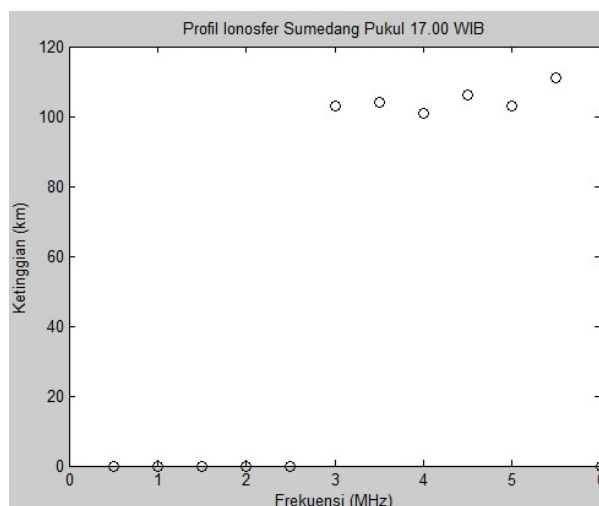


Gambar 4.42 Sinyal Pantulan Pada Frekuensi Pancar 6 Mhz 18 Mei Pukul 19.00

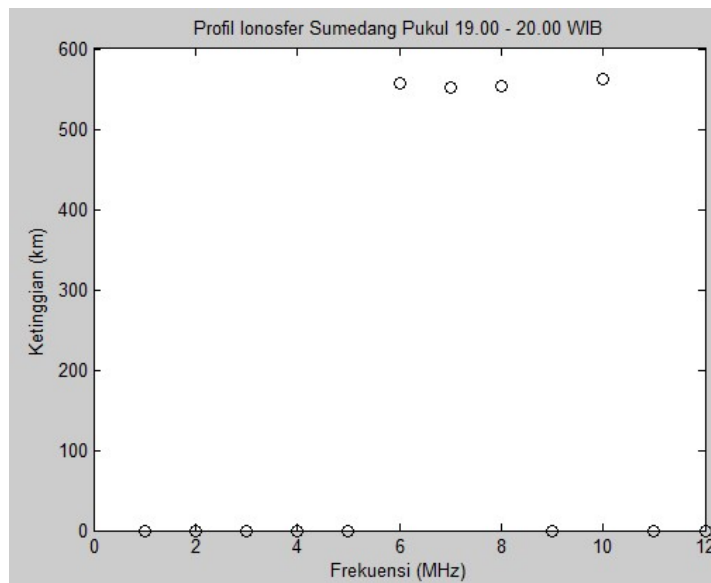
Disimpulkan bahwa hasil keluaran data pada Perangkat Radar yang di desain dapat menampilkan kemunculan lapisan F di atas Sumedang pada frekuensi 6 MHz sampai 10 MHz pada ketinggian 551 km sampai 562 km pada pukul 20.00 WIB serta informasi terdeformasinya lapisan E pada waktu tersebut.

4.3 Karakteristik Ionosfer Sumedang Jawa Barat

Hasil penelitian lapisan ionosfer dengan percobaan pancar saat sore hari dan malam hari di lokasi balai uji Sumedang, Jawa Barat memperlihatkan bahwa karakteristik ionosfernya yaitu lapisan E terbentuk di ketinggian 101 – 111 km pada frekuensi 3 MHz sampai 5,5 MHz (Gambar 4.43). Dan kemudian lapisan tersebut terdeformasi dan tidak terlihat pada percobaan pancar pukul 19.00 WIB.



Gambar 4.43 Profil Lapisan E Ionosfer Sumedang Pada Pukul 17.00 WIB



Gambar 4.44 Profil Ionosfer Sumedang Pukul 19.00 – 20.00 WIB

Begitupula Lapisan F yang terbentuk pada ketinggian bervariasi antara 551-562 km dapat terlihat pada frekuensi 6 MHz sampai 10 MHz saat pukul 19.00 WIB (Gambar 4.44).

Dari profil-profil ketinggian lapisan tersebut dapat digunakan sebagai acuan untuk pemilihan frekuensi komunikasi HF antara dua titik di wilayah Indonesia dengan menggunakan propagasi angkasa dengan media pemantul lapisan Ionosfer. Pada sore hari, untuk jarak dalam satu pulau (lapisan ionosfer saat rendah) efektif menggunakan frekuensi 3 sampai 5 MHz dimana hal ini dapat terlihat pada data ALE komunikasi Bandung, Jawa Barat – Watukosek, Jawa Timur pada Gambar 4.35. Kemudian untuk malam hari, lapisan F sebagai pemantul berada cukup tinggi, sehingga komunikasi jarak jauh antar pulau dapat terjadi, yaitu pada rentang frekuensi 6 MHz sampai 10 MHz.

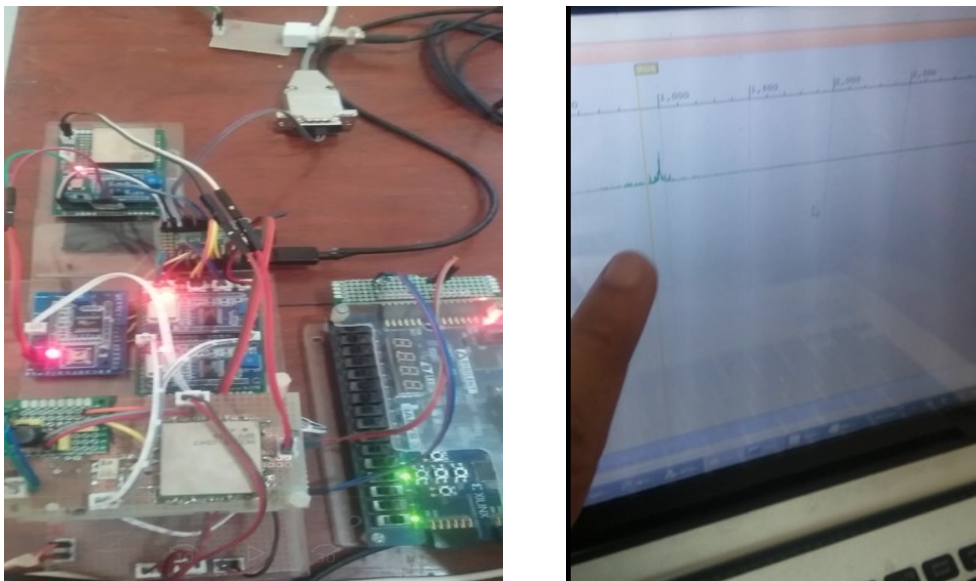
4.4 Sintesis Penelitian

Dari hasil implementasi pengolahan data dengan FPGA menunjukkan bahwa dengan menggunakan *board educational* FPGA Basys3, dapat dirancang beberapa modul untuk aplikasi pengolahan data Radar sampai menghasilkan data yang dapat diinterpretasi.

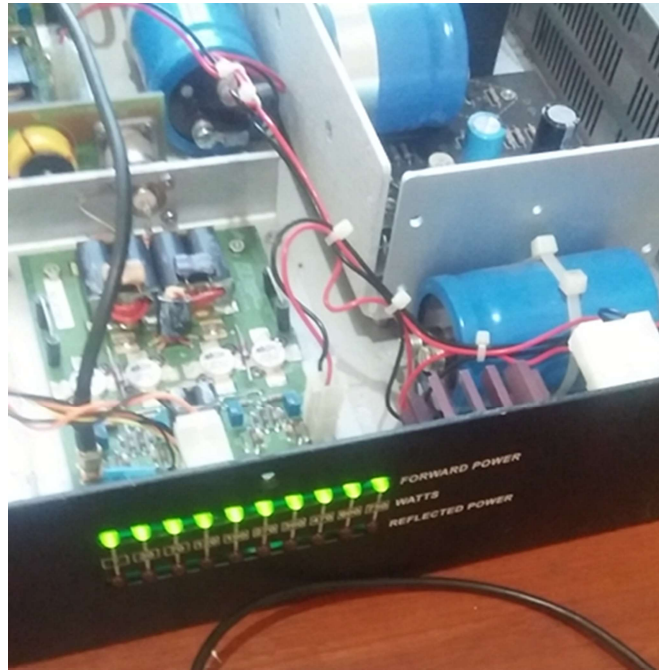
Karakteristik Lapisan ionosfer yang diamati pada percobaan pancar dengan rentang waktu yang berbeda, dapat terlihat bahwa, karakteritik ionosfer di atas Sumedang, Jawa Barat, dimana lapisan E terjadi pada ketinggian 101 – 111 km dan pada frekuensi 3 MHz sampai 5,5 MHz. Dan kemudian berangsur-angsur terdeformasi dan tidak terlihat pada percobaan pancar pukul 19.00 WIB. Begitupula Lapisan F yang terbentuk pada ketinggian bervariasi antara 551-562 km dapat terlihat pada frekuensi 6 MHz sampai 10 MHz. Hal ini bersesuaian dengan karakteristik lapisan Ionosfer Lintang rendah Indonesia (Jiyo, 2009), (Buldan, 2010) dan (Varuliantor, 2012)

Dengan Perancangan pulsa pancar, integrasi pulsa dan sistem penerima *Heterodyne*, tujuannya adalah untuk meningkatkan sensitifitas deteksi objek lapisan Ionosfer. Namun dari pengamatan data hasil pemancaran, *spike* yang tinggi diawal data dan diakhir deret data sangat mengurangi kualitas data. Tetapi dari hasil pengamatan karakteristik data yang ditampilkan bila dibandingkan dengan data-data Ionogram menunjukkan karakteristik yang mirip.

Kinerja antenna yang digunakan pada radar ini, menurut data simulasi berkurang pada rentang frekuensi di atas 12 MHz, sehingga sensitifitas penerimaan sinyal pantul pada sistem yang di desain berkurang pada rentang frekuensi tersebut.



Gambar 4.45 Rancangan Saat Bekerja (kiri), dan Keluran Impuls (Kanan)



Gambar 4.46 Pemancar Saat Bekerja Mengeluarkan Daya Maksimal

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Implementasi FPGA untuk pengamatan karakteristik Ionosfer menunjukkan bahwa dengan menggunakan *board educational* FPGA Basys3 ini dapat dirancang beberapa modul untuk aplikasi pengolahan data Radar. Dengan hasil uji menggunakan beberapa nilai frekuensi pancaran, dan pada waktu yang berbeda diperoleh kesimpulan, yaitu :

1. Modul Penerima Heterodine dapat mentranslasi frekuensi input dari rentang 2 MHz sampai 22 MHz ke frekuensi IF di frekuensi kerja 200 kHz dan modul korelator dapat mendeteksi korelasi antara sinyal pantulan dari lapisan ionosfer dan sinyal referensi pancar dengan baik memberikan gain sebesar 11 dB.
2. Akuisisi data sinyal pantul yang diterima pada sistem yang dirancang terdapat *spike* yang cukup tinggi pada saat awal sampling dan akhir sampling. *Spike* berada di sampel ke 1 sampai 300 dan sampel 3600 sampai 4096. Data-data pada data sampel tersebut tidak digunakan, sehingga jangkauan deteksi lapisan Ionosfer menjadi 85 km sampai 587 km, dari desain awal 50 km sampai 660 km.
3. Sensitifitas penerimaan sinyal pantul berkurang sampai pada SNR bernilai 1,2 pada frekuensi tertentu karena keterbatasan kinerja antenna yang digunakan.
4. Radar dapat memberikan informasi pembentukan lapisan E di ketinggian 101-111 km pada sore hari, yang bersesuaian dengan hasil data ALE Bandung-Watukosek diindikasikan dengan keberhasilan komunikasi pada kanal 1 dan 2, serta dari pendekatan data ionogram Pontianak yang juga terlihat lapisan E pada ketinggian 100-120 km pada waktu pengamatan yang sama.
5. Pada malam hari Radar dapat mengkonfirmasi lapisan E yang terdeformasi, dan lapisan F yang naik di ketinggian sampai 562 km. Karakteristik ini sesuai dengan ionogram Pontianak pada waktu pengamatan yang sama.

6. Hasil perancangan FPGA dapat digunakan untuk pengamatan karakteristik Ionosfer saat sore dan malam hari.

5.2 **Saran**

1. Sebaiknya menggunakan antena yang kinerjanya sesuai dengan frekuensi yang akan dipancarkan dan diamati untuk meningkatkan sensitifitas penerimaan dari radar.
2. Diperlukan validasi in-situ (dengan Ionosonda Sumedang) terhadap data-data yang dihasilkan, dan jika Ionosonda di lokasi uji ini aktif kembali, dapat digunakan sebagai pembanding data hasil pengamatan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Baker, K.B., Dudeney, J.R., Greenwald, R.A., et al. HF radar signatures of the cusp and low-latitude boundary layer. *J. Geophys. Res.* 100, 7671–7695, 1995
- [2] Brimeyer, T., A Generic Radar Processor Design Using Software Defined Radio, 33rd Conference on Radar Meteorology, 2007
- [3] Bianchi, C., Sciacca, U., Zirizzotti, A., et al. Signal processing techniques for phase-coded HF-VHF radars. *Ann. Geophys.* 46 (4), 697–705, 2003
- [4] B. W. Reinisch, Ionosonde in *The Upper Atmosphere: Data Analysis and Interpretation*, W. Dieminger, G. K. Hartmann, and R. Leitinger, Eds. New York: Springer-Verlag, 1996
- [5] Chatterjee, S. dan Chakraborty, S. K., Variability of Ionospheric Scintillation Near The Equatorial Anomaly Crest of The Indian Zone, *Ann. Geophys.*, Vol.31, p. 697-711, 2013
- [6] Gang, C., Zhengyu, Z., Shipeng, L., et al. WIOBSS: the Chinese lowpower digital ionosonde for ionospheric backscattering detection. *Adv. Space Res.* 43, 1343–1348, 2007a
- [7] Jiyo, Kajian Hasil Uji Prediksi Frekuensi HF Pada Sirkuit Komunikasi Radio Di Lingkungan Kohanudnas, *Berita Dirgantara*, Vol 10, No.4, 2009
- [8] Kothekar, P.D., Transmitter Chain for HF radar i.e. Ionosonde using Direct Digital Synthesizer, *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, Vol. 2, No. 3, p.2192-2195, 2012
- [9] Mahafsa, B., *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB*, Chapman and Hall/CRC Press, Boca Raton, 2000

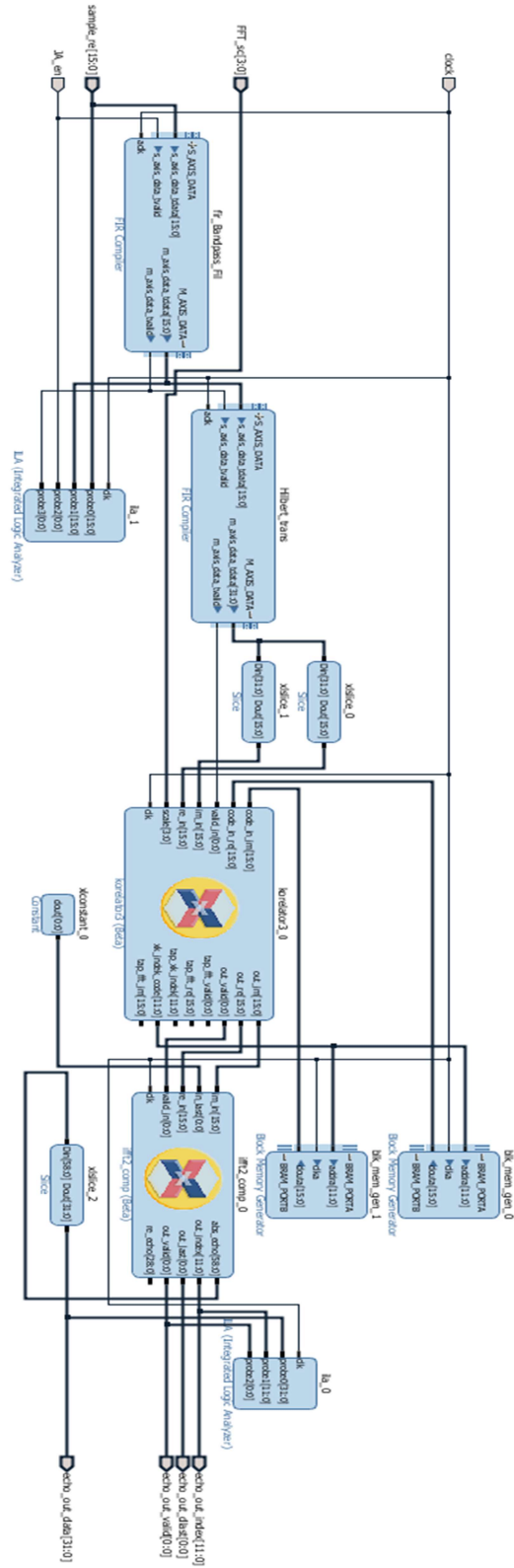
- [10] Martin, C., Loew, E., Burghart, C.A, General Purpose FPGA Based Radar Controller and Signal Processor, 92nd American Meteorological Society, 2012
- [11] McNamara, L.F., The Ionosphere : Communications, Surveillance, and Direction Finding, Krieger Publishing, San Fransisco, 1990
- [12] McDougall, J.W., The Canadian Advanced Digital Ionosonde: Design and Results, 24th General Assembly of the International Union of Radio Science (URSI), 1993
- [13] McClure, J. P., Hanson, W. B., Hoffman, J. H., Plasma bubbles and irregularities In The Equatorial Ionosphere, Journal of Geophysical Research Vol. 82, No. 19, hal. 2650–2656, 2012
- [14] Meyer-Baese, Digital Signal Processing With FPGA, Springer, New York, 2009
- [15] M, Skolnik, Introduction to Radar Systems, McGraw Hill, 1980
- [16] Muslim, Buldan, Pemodelan dan Validasi Hubungan Antara Frekuensi Kritis Lapisan F2 Ionosfer (foF2) Dengan Total Electron Content (TEC) Dari Data Ionosonda dan GPS, Jurnal Fisika Indonesia, Vol. 10, No. 1, 2010
- [17] Muslim, Buldan, Jiyo, Asnawi, Present Status and Future Plan of Ionospheric Observation and Research in LAPAN, 1st AOSWA Workshop, Thailand, 2012
- [18] Muslim, Buldan, Global response of ionosphere to July 14, 2000 Coronal Mass Ejection, Indonesian Journal of Physics, Indonesian Physics Association. Vol. A5, No. 0505, 2002
- [19] Nozaki, K., Application of FM/CW Techniques to Ionosondes, 24th General Assembly of the International Union of Radio Science (URSI), 1993
- [20] Reinisch, B.W., Huang, X., Galkin, I.A., Paznukhov, V., et al. Recent advances in real-time analysis of ionograms and ionospheric drift

- measurements with digisondes. *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.* 67 (12), 1054–1062, 2005.
- [21] Romero, D. and Dolecek, G., *MATLAB – A Fundamental Tool for Scientific Computing and Engineering Applications*, Intech Publishing, Vol. 1, California, 2012
- [22] Warrington, E. M., Bourdillon, A., Benito, E., Bianchi, C., *Aspects of HF Radio Propagation*, *Annals Of Geophysics*, Vol. 52, 2009
- [23] Wilson, Peter, *Design Recipes for FPGAs*, Elsevier Publishing, Burlington, 2007
- [23] Varuliantor, Dear, *Kemunculan Lapisan E Sebagai Sumber Gangguan Terhadap Komunikasi Radio HF*, *Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara*, Vol 4, No.3 September,2009
- [24] Xilinx Application Note, www.xilinx.com, di download, January 2017
- [25] Zuccheretti, E., Tutone, G., Sciacca, U., et al. The New AIS-INGV Digital Ionosonde. *Ann. Geophys.* 46 (4), 647–659, 2003.
- .

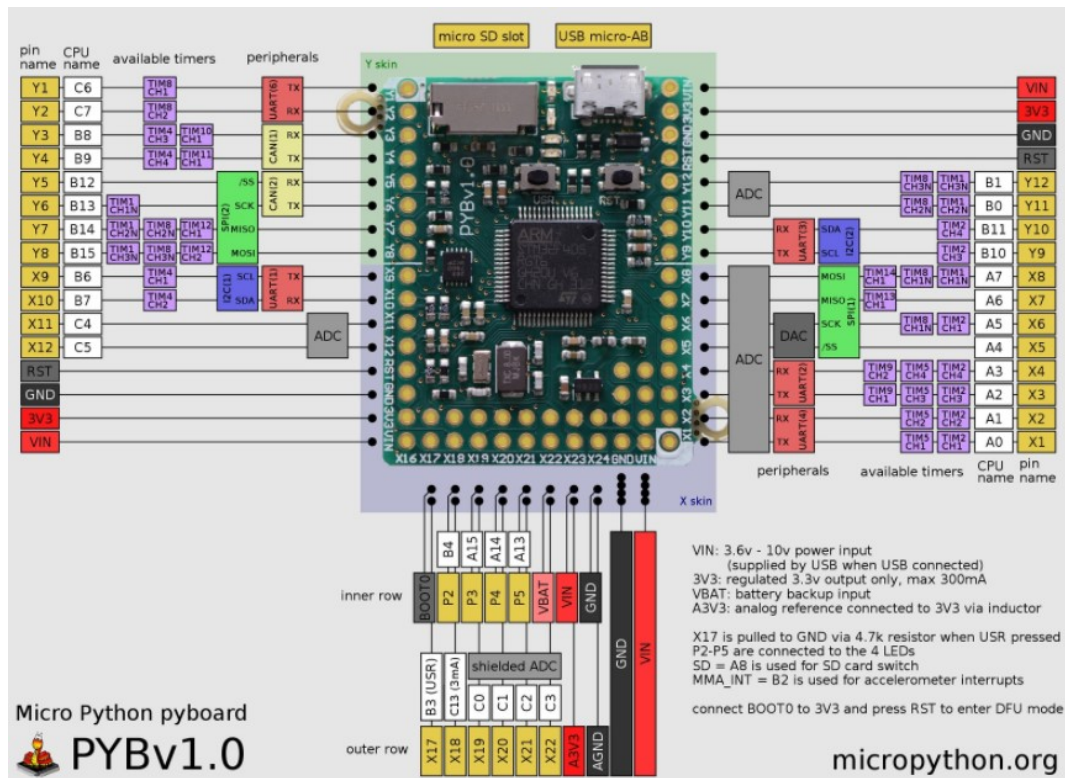
Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

FPGA Blok Desain



Modul Pyboard



Modul FPGA BASYS-3

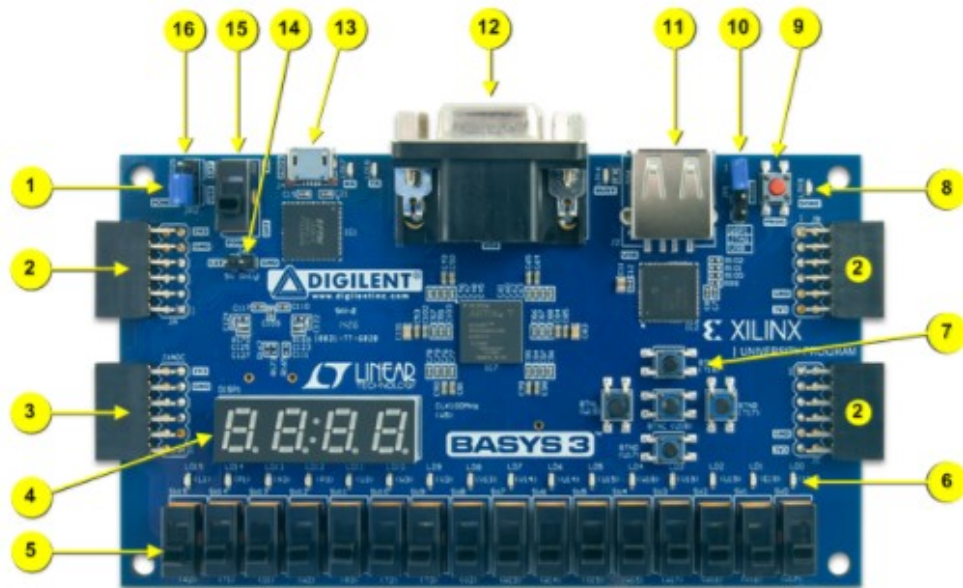
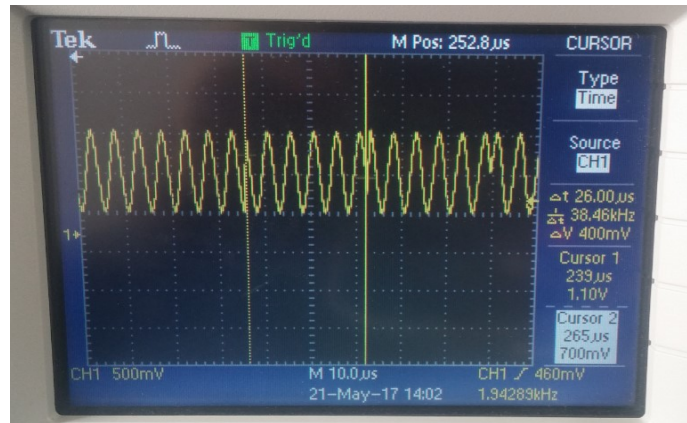


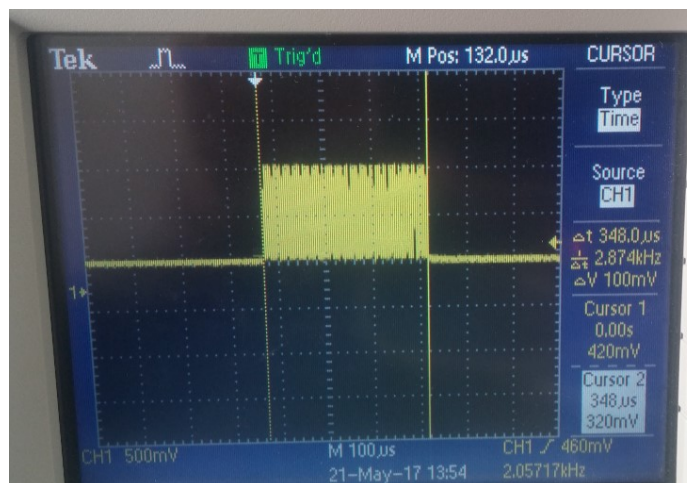
Figure 1. Basys3 board features

Callout	Component Description	Callout	Component Description
1	Power good LED	9	FPGA configuration reset button
2	Pmod connector(s)	10	Programming mode jumper
3	Analog signal Pmod connector (XADC)	11	USB host connector
4	Four digit 7-segment display	12	VGA connector
5	Slide switches (16)	13	Shared UART/JTAG USB port
6	LEDs (16)	14	External power connector
7	Pushbuttons (5)	15	Power Switch
8	FPGA programming done LED	16	Power Select Jumper

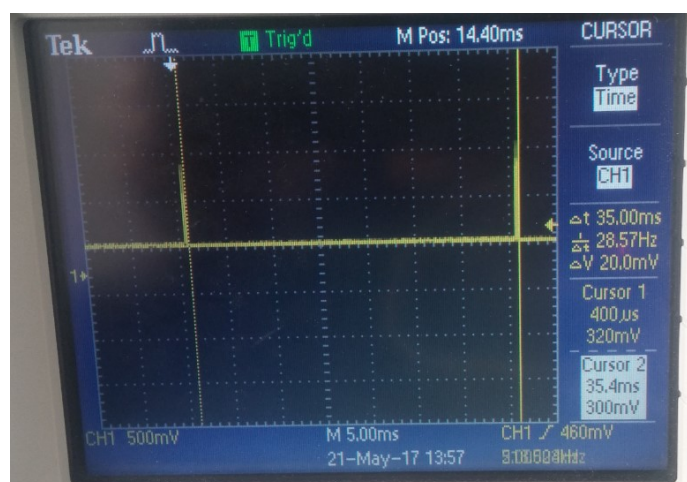
Display Osiloskop



lebar sub-pulsa pancar



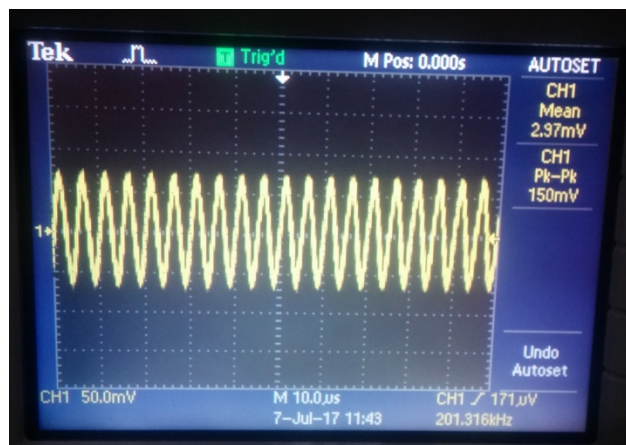
lebar pulsa pancar



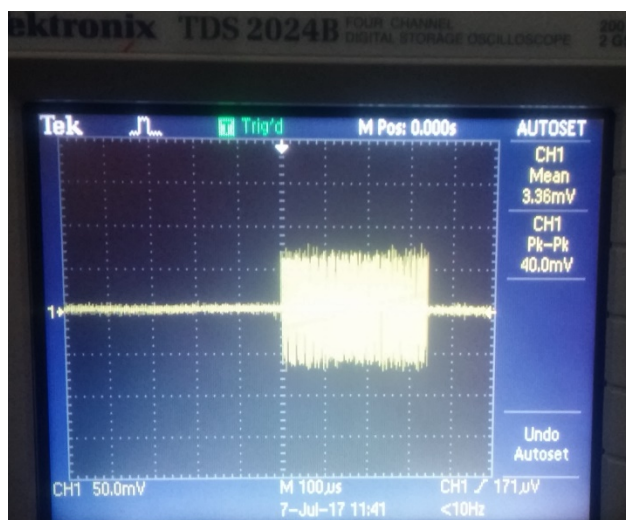
antar pulsa pancar



komponen frekuensi keluaran dari penerima heterodine

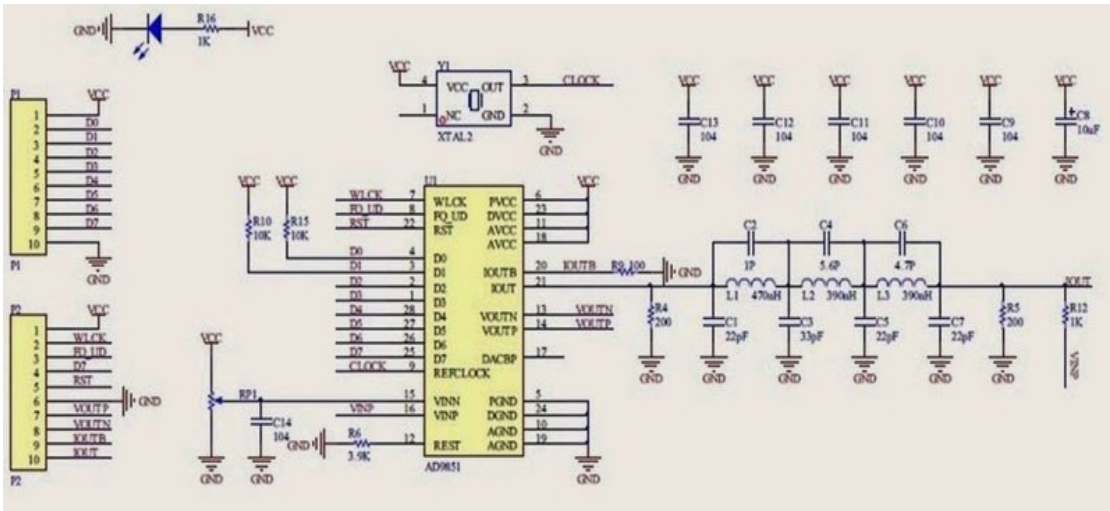
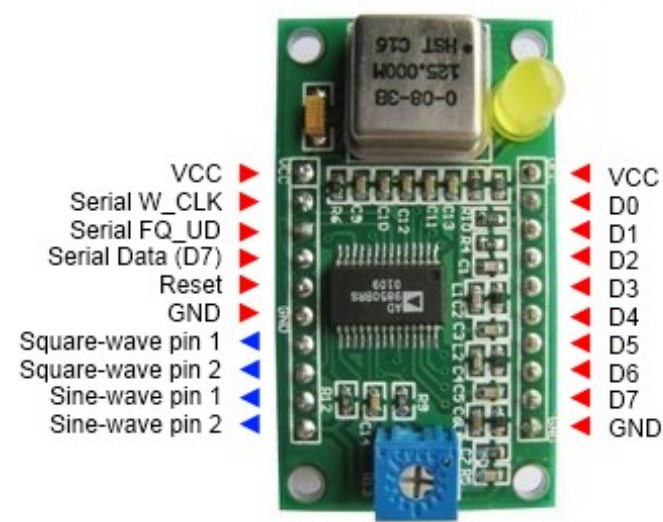


frekuensi 200 kHz pada keluaran penerima heterodine



keluaran pulsa pada penerima heterodine

Modul AD9850



DAFTAR INDEX

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis dilahirkan sebagai anak pertama dari kedua orang tua Suhada (alm.) dan Titiek Sri Nuswantari pada tanggal 27 Juli 1978 di Jakarta Timur dengan nama lengkap Adi Purwono, di keluarga biasa dipanggil Adi atau teman-teman di rumah dan sekolah dengan nama panggilan Bhodiel. Penulis sekarang aktif di kegiatan penelitian di bidang telekomunikasi teresterial dan Radar serta instrumentasi sensor mikro satelit pada Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional – LAPAN.

Riwayat Pendidikan :

1. SD Negeri 04 Pagi Cipinang Melayu Jakarta Timur, 1991
2. SMP Negeri 109 Jakarta Timur, 1994
3. SMU Negeri 42 Jakarta Timur, 1997
4. S-1 Teknik Elektro UGM Yogyakarta, 2003
5. Non Degree Program Chiba Univ – JAXA, 2007
6. Technisch Universteit Eindhoven, Master Program, Dropped-Out, 2009
7. Non Degree Program National Central Univ, Taiwan, 2011

Kontak :

poerwono.adi@gmail.com

adi.purwono@lapan.go.id

